

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Д.С. Конюхов

Использование подземного пространства

*Рекомендовано АСВ для студентов, обучающихся
по специальностям 290300 "Промышленное и гражданское
строительство", 291400 "Проектирование зданий" и бакалавров
по направлению 550100 "Строительство"*

Москва
Архитектура-С
2004

УДК 624
ББК 38.78
К 65

Конюхов Д.С.

К 65 Использование подземного пространства. Учеб. пособие для вузов. – М.: Архитектура-С, 2004. – 296 с., ил.

ISBN 5-9647-0008-X

В учебном пособии приводится широкий обзор истории освоения подземного пространства в различных странах мира, подробно рассматриваются все существующие типы подземных сооружений, экологические аспекты строительства и использования подземных сооружений. Большое внимание уделено повторному использованию ранее построенных подземных объектов и отработанных горных выработок.

Для студентов строительных и архитектурных вузов и факультетов.

ББК 38.78

ISBN 5-9647-0008-X

© Д.С. Конюхов, 2004
© Архитектура-С, 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Инженерное освоение подземного пространства — это одно из важнейших направлений, обеспечивающих устойчивость развития современного общества.

Учебное пособие, которое вы держите в руках, предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 653 500 «Строительство» (специальности: 290 300 «Промышленное и гражданское строительство», 291 400 «Проектирование зданий») и бакалавров по направлению 550 100 «Строительство». В нём приводится обзор истории освоения подземного пространства в различных странах мира, включая Россию, рассматриваются практически все типы существующих в настоящее время в мире подземных сооружений, даются многочисленные примеры архитектурно-планировочных решений подземных объектов, построенных в последние годы. Отдельное внимание уделяется экологическим аспектам взаимодействия подземного сооружения с окружающей его природной и городской средой, комплексному использованию подземного пространства, а также повторному использованию ранее построенных подземных объектов различного назначения и отработанных горных выработок. В книге рассматриваются проблемы надёжности и долговечности подземных сооружений и излагается современная теория рисков применительно к подземному строительству.

Подготовка и издание этого пособия стали возможными во многом благодаря постоянной помощи и поддержке декана факультета Гидротехнического и специального строительства, заведующего кафедрой Подземного строительства и гидротехнических работ МГСУ, доктора техн. наук, профессора М.Г. Зерцалова. Автор искренне благодарит рецензентов: докторов техн. наук, профессоров И.Я. Дормана и В.Е. Меркина за ценные советы и замечания при подготовке рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во всём мире всё большее внимание при планировке и застройке крупных городов и городов-мегаполисов уделяется проблемам освоения подземного пространства, а также строительству подземных объектов за пределами городской черты, обеспечивающих нормальное функционирование крупных населённых, в особенности промышленных, центров. Такие проблемы, как дефицит городских территорий, постоянный рост населения городов, скопление на дорогах больших масс транспортных средств, неспособность городской инфраструктуры справиться с постоянно возрастающими нагрузками и ухудшение экологической обстановки требуют всё более активного использования подземного пространства, в том числе для размещения транспортных и инженерных систем, объектов торговли и бытового обслуживания, складов и автостоянок и т.п. Согласно современным исследованиям, в большинстве случаев подземные сооружения, несмотря на значительные затраты при их возведении, являются наиболее оптимальными решениями многих вопросов функционирования города.

Подземное пространство города — это пространство под дневной поверхностью земли, используемое как «одно из средств преодоления тенденции расширения города, предмет разработок новых концепций создания и сохранения естественной среды обитания, достижения приоритетов эколого-экономического благополучия и устойчивого развития, создания условий жизнедеятельности людей в экстремальных условиях» [РАСЭ, 1996]. Подземное пространство города включает: подземные транспортные сооружения, размещение промышленных предприятий и предприятий обслуживания населения, подземные городские сети и сооружения инженерного оборудования, сооружения специального назначения. Комплексное освоение подземного про-

странства (рис. 1) характерно для крупных городов и городов-мегаполисов, в основном, в зонах общегородского центра и центрах муниципальных районов, в зонах наиболее важных транспортных узлов и пересечений, на территориях промышленного и коммунально-складского назначения. Одним из аспектов комплексного освоения подземного пространства является рациональное использование наземной территории, в частности:

строительство зданий и сооружений в условиях стеснённой городской застройки;

сохранение территории зелёных зон и мест отдыха, устройство в сложившейся застройке озеленённых и благоустроенных участков;

повышение художественно-эстетических качеств городской среды, сохранение исторически ценной территории;

сохранение и восстановление уникальных объектов ландшафтной архитектуры;

доступность наиболее важных объектов городского значения и мест трудовой деятельности горожан, экономия времени;

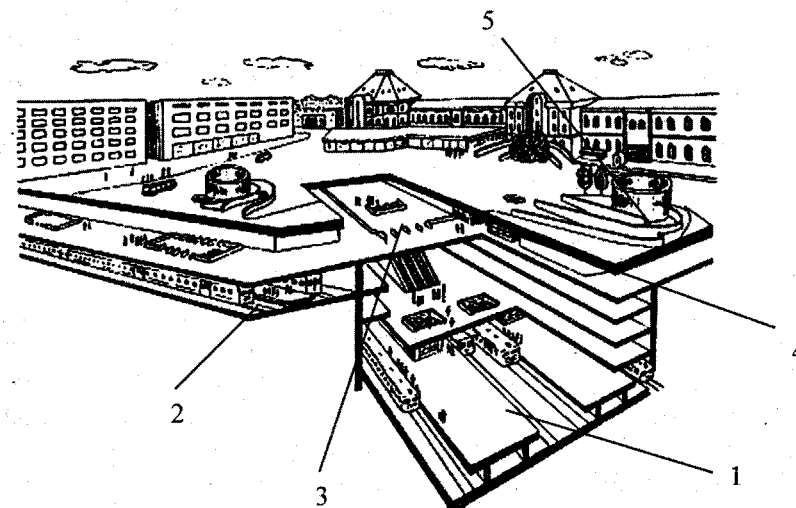


Рис. 1. Комплексное использование подземного пространства (на примере ж/д станции в Токио) [Ивахнюк, 1999]:

1 — железнодорожная станция, 2 — линия метрополитена, 3 — пересадочный узел, 4 — предприятия торговли, 5 — въезд на автостоянку

улучшение транспортного обслуживания, повышение безопасности движения, снижение уличных шумов;
сокращение длины инженерных коммуникаций;
защита населения в периоды возможных природных и техногенных аварий и катастроф.

Во всех мировых столицах ведётся активное освоение подземного пространства. Не являются исключением и крупные города нашей страны, в первую очередь Москва и Санкт-Петербург. По сути дела, на наших глазах создаётся новая подземная инфраструктура крупных городов, в ходе проектирования и строительства которой необходимо учитывать целый ряд факторов, и, прежде всего, влияние техногенных процессов на экологию подземного пространства и состояние гидрогеологической среды. Гиперконцентрация населения, инфраструктуры и промышленного производства приводит к огромной перегрузке геоэкологической и гидрогеологической сред крупных городов и вызывает в них необратимые изменения. На территории Москвы под воздействием техногенных факторов развивается гравитационное и динамическое уплотнение пород, сдвигание пород в массиве, гидростатическое взвешивание и сжатие рыхлых водовмещающих пород, механическая и химическая суффозия. Наиболее активно воздействие города проявляется в поверхностных слоях земной коры на глубинах до 60—100 м, однако, в отдельных случаях, это воздействие может проявляться и на глубинах до 1500—2000 м от дневной поверхности*. Наиболее существенное влияние на геоэкологическую среду оказывают: воздействие наземной техносферы города, создание подземных выработок, откачка подземных вод, нарушение инфильтрационного баланса грунтовых вод. Нарушение природного баланса грунтовых вод, например, приводит к изменению напряжённо-деформированного состояния породного массива и уплотнению пород в пределах депрессионных воронок, образующихся при водопонижении. Это, в свою очередь, вызывает деформации земной поверхности и становится причиной многочисленных аварийных ситуаций. Всё вышеперечисленное свидетельствует о том, что на территории Москвы

* Использованы данные официального интернет-сайта правительства Москвы www.mos.ru.

протекают значительные изменения геологической среды и природный ресурсный потенциал уже, практически, не в состоянии обеспечить своё самовосстановление. Примерно 48 % территории города находится в районах геологического риска, 12 % — в районах потенциального геологического риска и лишь 40 % территории характеризуются как стабильные.

На настоящий момент «освоение подземного пространства является ключом к сохранению окружающей среды, а также фактором, оказывающим благоприятное влияние на сохранение среды обитания человека в крупных городах» [Петренко, 1998]. Этого благоприятного влияния можно достичь за счёт:

- более полного использования подземного пространства, как среды обитания человека;
- расширения области применения «экологических» способов строительства подземных сооружений;
- контроля за просадками дневной поверхности и их предотвращение;
- нестандартных архитектурно-планировочных решений с учётом экологических требований при использовании подземного пространства.

Среди большого количества объектов подземной инфраструктуры существенная роль отводится системам и сооружениям транспортного назначения. К их числу принято относить:

объекты городского скоростного внеуличного пассажирского рельсового транспорта (метрополитен, скоростной трамвай, городская железная дорога);

пересечения городских улиц и дорог в разных уровнях, транспортные тоннели, подводные тоннели, подземные пешеходные переходы и т.д.;

объекты, связанные с хранением и обслуживанием автомобильного транспорта (гаражи для постоянного хранения автотранспорта, гостевые автостоянки-паркинги);

многофункциональные, многоуровневые объекты и комплексы различного назначения, взаимосвязанные с наземными зданиями, а также сооружениями и устройствами транспортного назначения с различными формами использования подземного городского пространства (вокзалы, торговые центры, станции метро и т.д.)

Среди подземных систем специализированного пассажирского транспорта в городах нашей страны преобладают метрополитены. В настоящее время метрополитены эксплуатируются и строятся в десяти городах России: Екатеринбурге, Казани, Красноярске, Москве, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Омске, Санкт-Петербурге, Самаре, Челябинске, а проектируется — в Уфе.

В последние годы всё более широкое распространение завоевывает тенденция создания новых транспортных линий, призванных обеспечить связь деловых, культурно-исторических и торговых центров между собой и с районами массовой жилой застройки, расположенными на окраинах крупных городов. Это позволит увеличить скорость сообщения и улучшить качество обслуживания пассажиров. К таким линиям, в первую очередь, относятся «мини-метро», имеющие меньшие размеры туннелей и станций «в свету», более короткие расстояния между станциями,



Рис. 2. Станция линии «Метеор». Париж

более низкие скорости движения подвижного состава. Дополняя уже существующие сети метрополитена проектируются системы «метро центра», которые позволяют создавать более удобные связи для внутрицентровых перевозок. Также в Москве планируется создание сети экспрессных линий метрополитена. Такие системы существуют во многих крупных городах мира: Париже, Лондоне, Нью-Йорке и многих других (рис. 2). Интеграция различных внеуличных систем рельсового транспорта позволяет приблизить пассажиров к наиболее посещаемым местам города.

Каркасом современного города является улично-дорожная сеть, которая также взаимосвязана с проблемами освоения и использования подземного пространства. В Москве многие транспортные пересечения в разных уровнях решены с использованием тоннелей. Использование разноуровневых пересечений (в частности, тоннельного типа) упорядочивает условия движения городского наземного транспорта, сокращает уровень транспортных шумов и загрязнения воздуха выхлопными газами автомобилей, снижает число дорожно-транспортных происшествий.

С подземными транспортными системами непосредственно связана ещё одна градостроительная проблема — организация постоянного и временного хранения автомобильного транспорта. При решении этой проблемы необходимо, сочетая различные приёмы и максимально учитывая всю совокупность конкретных условий, применять новые технологии использования подземного пространства, являющиеся особенно перспективными для переуплотнённых и реконструируемых центральных районов городов-мегаполисов.

Комплексное использование подземного пространства сдерживает дальнейший рост территорий крупных городов и позволяет решать совместно градостроительные, транспортные, инженерные и социальные проблемы, улучшать архитектурно-планировочную структуру городов, освободить поверхность земли от многих сооружений вспомогательного характера, рационально использовать городские территории для жилищного строительства, создать места отдыха горожан, улучшить санитарно-гигиеническое состояние города, сохраняя архитектурные памятники — эффективно размещать объекты инженерного оборудования и т.д.

1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИНЖЕНЕРНОГО ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

1.1. Краткий исторический обзор подземного строительства в мире

Подземелье, подземная пустота, простор, природный или копанный; вертеп, пещера, землянка, подкоп. *Подземельный*, почти тоже, но больше о деле рук человека, а не природы. *Подземный*, всё, что под корою, под верхом земли, в недрах, под верхними пластами ея. *Подземное царство* бога тьмы, крошечная тьма, ад. *Подземный ход*, вырытый.

В. И. Даль. Толковый словарь живого великорусского языка

Подземный — находящийся или производимый под поверхностью земли.

Тоннель — подземное сооружение в виде коридора, по которому проложены пути.

С.И. Ожегов. Словарь русского языка

Освоение человеком подземного пространства началось в глубокой древности. Прототипом подземных сооружений можно считать естественные пещеры и пустоты в скальных породах, используемые нашими предками. Пещера стала первым жилищем человека, защищавшим его от непогоды и хищников. Примерно в то же время человек начал подземным способом разрабатывать горные породы для получения различных полезных ископаемых.

В.М. Слуким [Слуким, 1991] предлагается периодизация подземных сооружений по эпохам:

- 1) поздний палеолит и неолит (до 4 тысячелетия до н.э.);
- 2) древний мир (4 тысячелетие до н.э. — IV вв. н.э.);

3) средневековые (V—XI вв.);

4) новое время (после XII вв.).

Российским обществом спелеологических исследований разработан «Кадастр искусственных пещер и подземных архитектурных сооружений на территории Евразийского и Африканского континентов»*. В зависимости от культурно-цивилизационных факторов, исторических предпосылок, основного рода занятий населения и проч. в «Кадастре» выделяются восемь спелеологических стран Старого Света.

1. *Восточнославянская*. Целиком располагается на территории СНГ и занимает достаточно однородную, с точки зрения культуры освоения подземного пространства, территорию: большую часть России, Белоруссии, Украины, север Казахстана. На этой территории с древности сооружались подземные объекты культурного и бытового назначения, культовые сооружения, убежища, фортификационные подземные ходы, рудники и каменоломни.

2. *Западноевропейская*. Занимает территорию Европы, стран Балтии, Северо-Западной Белоруссии, Закарпатья. Эта территория характеризуется широким и прагматичным использованием подземного пространства: уже многие тысячелетия здесь применяются подземные выработки, оборонительные сооружения, убежища, хозяйственные сооружения, некрополи.

3. *Переднеазиатская*. Включает Бессарабию, Горный Крым и Кавказ. Для этой территории с глубокой древности характерно комплексное использование больших групп подземных объектов различного назначения: жилых, хозяйственных, оборонительных, транспортных, культовых — входящих в пещерные города и подземные монастыри. На этой территории находятся широко известные в мире подземные города-монастыри (Каппадокия, Турция); большие подземные комплексы оборонительного и хозяйственного назначения.

4. *Среднеазиатская*. Располагается на территории среднеазиатских государств СНГ, восточного Азербайджана, Ирана и Северного Афганистана. Освоение подземного пространства здесь

* Долотов Ю.А. «Подземные архитектурные сооружения России: обзор и опыт кадастра»: <http://dolotov.narod.ru/>.

началось со строительства в предгорьях водоподводящих систем — кяриязов, суммарной протяженностью в десятки тысяч километров. В горных районах с 15 тысячелетия до н.э. развивалось горнорудное дело. Кроме этого в этом районе находят подземные ходы оборонительного назначения, а также мусульманские и буддийские культовые пещеры.

5. *Южноазиатская.* Занимает полуостров Индостан и прилегающие районы. Характеризуется развитием горного дела, наличием подземных цистерн, группами крупных подземных храмов с высеченными в скале архитектурными элементами — колоннами, скульптурами и проч.

6. *Восточноазиатская.* В основном, находится на территории Китая. Уникальные достижения древней и средневековой науки Китая способствовали созданию оригинальных и разнообразных подземных сооружений: пещерных храмов, некрополей, водоводов, транспортных коммуникаций. Особенно интенсивным развитием характеризовалось жилищное строительство — и в наше время в пещерных поселениях Китая проживают десятки миллионов человек

7. *Североафриканская.* Находится на территории Древнего Египта и стран Северной Африки. В основном характеризуется подземными сооружениями культового назначения: гробницами и храмами, а также подземной добычей полезных ископаемых. В Ливии и Алжире сохранились сетчатые водособирующие подземные системы, напоминающие кяриязы; в Эфиопии — оригинальные подземные храмы. В странах Северной Африки для защиты от жары жители периодически сооружали подземные жилища.

8. *Экваториальноафриканская.* На территории Чёрной Африки к югу от Сахары к настоящему времени не обнаружено никаких признаков подземного строительства. В Восточной Африке, видимо, вследствие культурного взаимообмена с Индией, Египтом и арабскими странами, подземным способом разрабатывались полезные ископаемые.

Первое свидетельство постройки тоннеля, зафиксированное в исторических документах, относится к 2 150 году до нашей эры. Это был подводный пешеходный тоннель протяжённостью 900 м и размерами в свету 4 × 3,6 м под рекой Евфрат в Вавилоне, соединявший царский дворец с храмом Юпитера. На время строи-

тельства русло реки шириной 180 м было отведено в сторону и все работы произведены насухо в открытом котловане. Стены и свод тоннеля состояли из кирпичной кладки на битумном вяжущем.

Подземные сооружения многократно упоминаются историком Геродотом. В частности, им описываются подземные фрагменты египетских пирамид (около 2500 года до н.э.), подземные покои египетской царицы Нитокрис (около 700 года до н.э.), тоннель длиной около 1600 м на острове Самос в Эгейском море, пройденный в известняке с помощью молотков и зубил. Вот что пишет сам Геродот об этом сооружении: «Сквозной тоннель в горе высотой в 150 оргий*, начинающийся у её подошвы с выходами по обеим сторонам. Длина тоннеля 7 стадий, а высота и ширина по 8 футов. Под этим тоннелем по всей его длине они прокопали канал глубиной в 20 локтей и 3 фута ширины, через который в город по трубам проведена вода... Строителем этого водопроводного сооружения был Евпалий, сын Навстрофа»**. В течение многих веков этот тоннель считался неизвестным и вновь был открыт лишь в 1882 году. При его обследовании было выяснено, что трасса тоннеля состоит из двух прямых, соединённых обратными кривыми.

К первому тысячелетию до н.э. историки относят подземные города на территории современных Грузии и Армении. В Грузии, недалеко от города Гори, сохранился древний подземный город Уплисхихе (рис. 1.1), сообщавшийся с р. Курой с помощью тоннеля. Для сбора грунтовых и атмосферных вод использовалась система шахт, соединявшихся между собой подземными ходами, проложенными на глубине около 50 м от поверхности земли. Подземные выработки возводились без обделки и лишь в отдельных случаях закреплялись каменной кладкой.

Около 50 года до н.э. римлянами был пробит тоннель длиной около 5 км для отвода воды из озера Фучино. Согласно исторiku Плинию, тоннель строился в течение 11 лет, работы велись встречными забоями примерно из 40 шахт.

* 1 оргия = 1,776 м, 1 стадий (аттический) = 177,6 м, 1 стадий (олимпийский) = 192,77 м, 1 локоть = 440 мм, 1 фут = 305 мм.

** Геродот. История. — М.: Ладомир, 1993.



Рис. 1.1. Подземный город Уплисхихе. Грузия. 1-е тысячелетие до н.э.

В начале I-го века н.э. римлянами был построен тоннель длиной 900 м и шириной 8 м на дороге Неаполь — Понцуоли. Тоннель проложен под холмом Посилипо, сложенным из вулканического туфа. Высота тоннеля у входного и выходного портала составляет 25 м, а к середине она постепенно уменьшается. Предполагается, что вертикальные раструбы предназначались для улучшения освещения дневным светом.

Около 300 года н.э. на территории современной Турции был построен тоннель, выполнявший одновременно функции водопровода и подземного судоходного канала.

При императоре Адриане римлянами был сооружен тоннель для водоснабжения Афин. В период турецкого владычества численность населения города резко упала, тоннель был заброшен и вновь запущен в эксплуатацию спустя столетия — в 1840 году. В 1925 году афинский водопровод был расширен и реконструирован, вследствие чего старый римский тоннель продолжает эксплуатироваться до сих пор.

Древние славяне в середине и второй половине 1-го тысячелетия н.э. в качестве основного вида жилища использовали полуподземные сооружения — землянки (рис. 1.2).

К VIII—IX векам относятся катакомбные погребения в Хазарии. Основу этого погребального сооружения составляли ката-

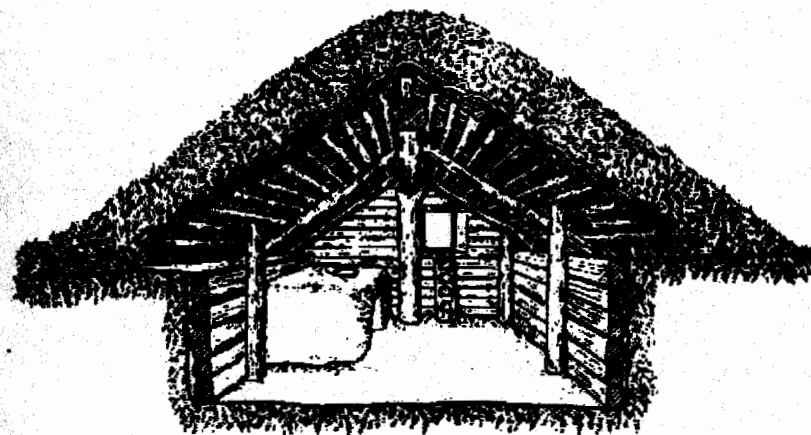


Рис. 1.2. Реконструкция славянского жилища по М. Гимбутас. Вторая половина 1-го тысячелетия н.э.

комбы, вырытые в твердом грунте на склонах холмов. Каждая катакомба состояла из двух частей — коридорного входа и погребальной камеры.

В Грузии на скалистом обрыве высотой 105 м на левом берегу р. Куры в XII—XIII вв. был высечен подземный комплекс Вардзия. Комплекс представляет собой 8 этажей пещер, пройденных в вулканических туфах на участке шириной около 500 м (рис. 1.3). В центре пещерного комплекса находится церковь Успения Богоматери, относящаяся, по росписи стен, к 1184—1186 годам. К западу от церкви расположена колокольня. Между ними, а также западнее и восточнее, находятся сотни общественных, культовых и жилых помещений, связанных коридорами, площадками и лестницами. Для водоснабжения комплекса его строителями был пробит тоннель протяженностью 3,5 км, по дну которого пролегли два гончарных трубопровода. Вода по ним шла самотёком. Пропускная способность этого водопровода составляла более 160 000 л/сут*.

* В соответствии со статистическими данными [Москва в цифрах, 1997], в 1900 году водопотребление в Москве на одного человека составляло 40 л/сут. Таким образом, в пещерном городе Вардзия могло проживать не менее 4000—5000 человек.

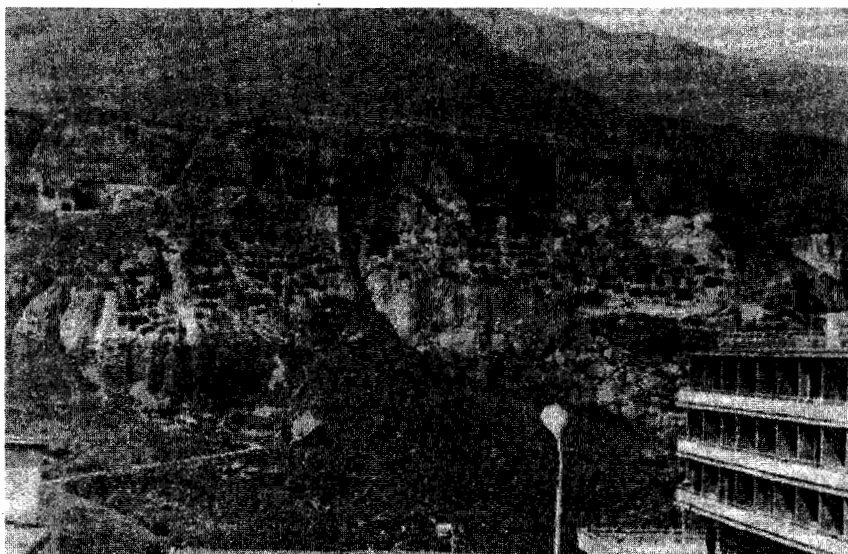


Рис. 1.3. Подземный комплекс Вардзиа. Грузия. XII—XIII вв. н.э.

Между 400-ми и 1400-ми годами историками отмечается почти тысячелетний застой в европейском тоннелестроении. Здесь необходимо отметить, что данный временной перерыв относится, в первую очередь, к строительству объектов общественного (промышленного и гражданского) назначения. Строительство подземных сооружений оборонного и специального назначения не прерывалось практически никогда. Более подробно это вопрос будет рассмотрен в следующих разделах на примере освоения подземного пространства России, стран СНГ и Москвы.

Начиная с XIII в. на юго-востоке Нидерландов широкое распространение получила подземная добыча известняка для строительства. Всего зарегистрировано около 250 каменоломен, в основном, частного характера, площадью от нескольких десятков метров до 100 га [Бреулс, 1998]. Большинство этих выработок, расположенных на глубине 20—25 м, сосредоточено в долинах Зихен и Зассен в 10 км от Маастриха. Добывая камень, рабочие прокладывали глубокие шахты к пласту известняка. При достижении пласта прорезали отдельный ход со ступенями, идущий к кухне, сараю или хозяйственной постройке на дневной поверхно-

сти. По окончании строительства выработки использовались как хранилища, колодцы (при повышении уровня грунтовых вод), убежища на время многочисленных войн. На стенах шахт находят рисунки всадников и солдат, изображённых в униформе армий практически всех стран мира, проходивших за истекшие 7 веков через территорию Нидерландов.

В 1450 году было начато строительство тоннеля на дороге между Ниццей и Генуей. Вскоре работы были приостановлены и возобновлены лишь через 300 лет. Однако в 1794 году строительство было полностью прекращено и над незаконченным тоннелем устроена дорога.

В конце XV в. на территории Московского Кремля было проложено несколько водопроводных тоннелей с обделкой из каменной кладки. В XVI в., в период правления Ивана Грозного, в Москве велось активное подземное строительство. В частности, в 1657 году В. Азмачеевым была предпринята попытка строительства подводного тоннеля под р. Москвой. В XVII в. в Пскове и Великом Новгороде было проложено несколько подземных ходов протяжённостью до 200 м с деревянным и каменным креплением свода и стен.

В XVII—XIX вв. во Франции было пройдено несколько судоходных тоннелей:

в 1679—1681 годах на участке Лангедокского канала, соединявшего р. Гаронна со Средиземным морем, тоннель длиной 164 м, высотой 8,2 м и шириной 6,7 м, пересекающий возвышенность Мальпас к северу от Пиренеев (Мальпасский тоннель, впервые в истории тоннельного дела, был пройден с применением пороха);

в 1784—1838 годах в разделительном бьефе канала Ниверне между реками Сана и Луара были построены три судоходных тоннеля общей протяжённостью около 1500 м и шириной 7 м;

в 1787—1789 годах на Центральном канале между реками Луара и Сена был сооружён тоннель Торси длиной 1276 м, шириной 2,6 м и высотой 2,9 м;

в 1802—1809 годах на Сен-Кантенском канале между реками Уаза и Шельда были пройдены два тоннеля: Рикеваль, длиной 5670 м, и Тронкуа, длиной 1098 м. Ширина этих тоннелей — 8 м.

В общей сложности, к началу XIX в. во Франции были построены около 40 судоходных тоннелей.

Не отставала от Франции и её историческая соперница — Англия: в период с 1766 по 1769 годы на канале, соединяющем каменноугольные копи с Манчестером, были пройдены 5 судоходных тоннелей, самый протяжённый из которых — Харкэстль, — имел длину 2632 м, ширину 2,7 м и высоту 3,7 м. В 1825—1827 годах параллельно ему был пройден ещё один тоннель длиной 2675 м, шириной 4,3 м и высотой 4,9 м. Всего за тот же период времени, что и во Франции, в Англии были построены около 60 судоходных тоннелей.

В США первый судоходный тоннель длиной 137 м, шириной 6,1 м и высотой 5,5 м был построен в 1818—1821 годах на Шюй-кильском канале. В 1828 году в Пенсильвании был сооружён судоходный тоннель Лебанон длиной 223 м, шириной 5,5 м и высотой 4,6 м.

Вторую четверть XIX в. можно считать началом эпохи промышленного тоннелестроения. Наряду с судоходными, активно возводились железнодорожные тоннели. Первый из них проложен в 1826—1830 годах в Англии на линии Ливерпуль—Манчестер, длина его составляет 1190 м. В то же время во Франции был построен железнодорожный тоннель на линии Роанн—Андрезье. В США первый железнодорожный тоннель был сооружён в 1831—1833 годах на линии Аллегэни—Портэдж в Пенсильвании. Длина тоннеля составила 270 м, высота 5,8 м, ширина 6,1 м.

«Отцом тоннелестроения» М. Брюннелем в 1825 году был предложен метод щитовой проходки, с помощью которого в мягких породах под р. Темзой был пройден тоннель протяженностью 450 м (рис. 1.4). Строительство было завершено в 1832 году. Инженерами Барлоу и Трейтхедом в 1869 году был сооружён второй подводный тоннель под Темзой длиной 450 м и внутренним диаметром 2 м. Для его проходки был использован щит кругового сечения с обделкой из чугунных сегментов. Этот щит является прообразом современных тоннелепроходческих щитов.

Важным этапом становления эпохи промышленного тоннелестроения является сооружение Лондонского метрополитена, открытого для движения в 1862 году. Первый участок имел протяжённость всего 3,6 км, однако уже в 1863 году парламентская комиссия одобрила сооружение 30-ти километровой подземной ок-

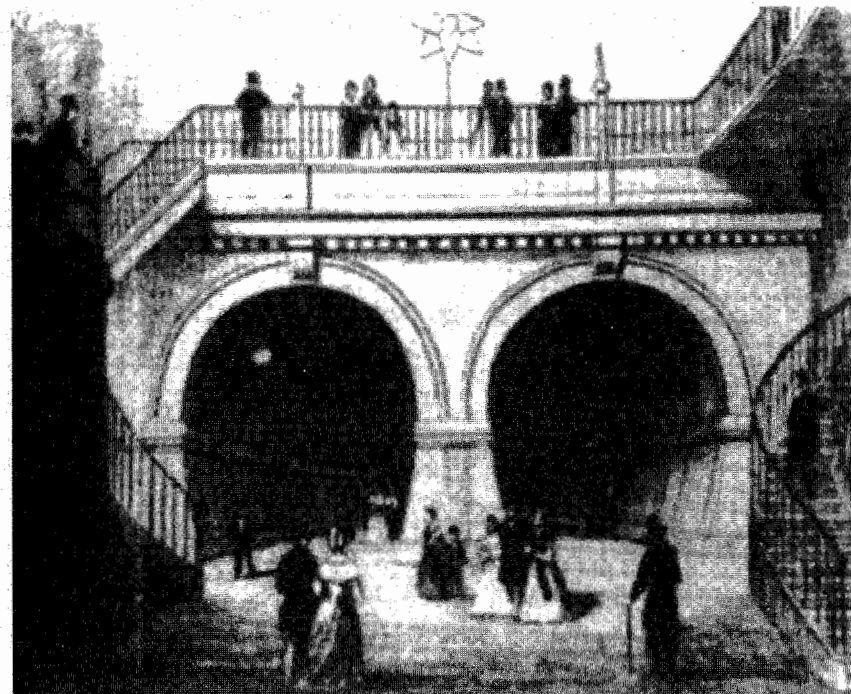


Рис. 1.4. Тоннель Брюннеля. 1832 год. Лондон

ружной железной дороги. Она была введена в эксплуатацию в 1884 году и на одном из ответвлений включила в себя тоннель Брюннеля, оказавшийся самым старым участком Лондонского метро. В 1890 году на подземной части Южно-Лондонской линии была введена электрическая тяга поездов. До этого поезда ходили на паровой тяге и тоннели были заполнены паровозным дымом и копотью.

Первые методы механизации проходческих работ были разработаны в середине XIX в. во время строительства протяжённых альпийских тоннелей. Первым из них стал двухпутный Мон-Сенинский тоннель между Францией и Италией протяжённостью 12 850 м. Работы были начаты в 1857 году, но продвигались крайне медленно. Для увеличения скорости проходки были сконструированы бурильные машины, работающие от сжатого воздуха, а в январе 1861 года здесь впервые было применено механическое

бурение. Движение в тоннеле было открыто 17 сентября 1871 года.

Второй альпийский тоннель — Сен-Готард, — начали строить в сентябре 1871 года (рис. 1.5). Двухпутный тоннель длиной около 16 300 м проходит в сильно нарушенных гранитах, гнейсах, сланцах и др. породах. При его сооружении порох впервые был заменён динамитом, применены гидравлические бурильные машины и механическая откатка породы. Строительство было завершено в 1882 году.

Дальнейшее совершенствование методов проходки позволило пройти двухпутный Альбергский железнодорожный тоннель длиной 10 270 м между долинами рек Инн и Рейн за четыре года: с 1880 по 1884 годы.

Значительно более грандиозный Симплонский тоннель между Италией и Швейцарией, протяжённостью 19 780 м, был построен в период с 1898 по 1906 годы. Значительная длина сооружения заставила его проектировщиков отказаться от принятой для всех остальных альпийских тоннелей двухпутной схемы движения и заменить её двумя параллельными однопутными тоннелями, расположенными на расстоянии 17 м один от другого.

В этот же период времени были сооружены ещё около 10 альпийских тоннелей протяжённостью от 6 100 м до 14 600 м. Наибольшую трудность вызвало строительство тоннеля Лечберг. Строительство было начато в 1906 году и до июля 1908 года проходило нормально. 24 июля 1908 года произошёл внезапный прорыв воды в тоннель и участок протяжённостью 150 м был заполнен жидкой массой песка, ила и щебня. При проведении обследования было выявлено, что тоннель пересёк тектонический разлом, заполненный аллювиальными отложениями. Через этот разлом прошла вода из р. Кордер, расположенной на высоте 180 м над трассой тоннеля. Строителями было принято решение обойти место прорыва, что увеличило общую длину сооружения на 870 м.

Немного раньше тоннеля Лечберг на севере Италии был пройден однопутный тоннель Гатико протяжённостью 3 310 м. При его строительстве впервые были применены вертикальные кессоны для проходки участка длиной 344 м в слабых водоносных грунтах.



Рис. 1.5. Схема расположения железнодорожных тоннелей в Швейцарских Альпах

Первые железнодорожные тоннели в России были сооружены в 1859 — 1862 годах на железной дороге «Санкт-Петербург—Варшава».

В 1892 году в Грузии было завершено строительство четырёхкилометрового тоннеля через Сурамский перевал. Строительство в трещиноватых породах с большим горным давлением, в основном, велось способом опёртого свода. В этом тоннеле, впервые в России, была применена гидравлическая машина для бурения шпуров. Расчёт свода, как «упругой арки», был выполнен по предложению проф. Л.Ф. Николаи.

По окончании Первой мировой войны в Италии на линии Флоренция—Болонья был выстроен железнодорожный тоннель протяжённостью 18 510 м.

В 1923—1927 годах в штате Колорадо (США) был сооружён однопутный Моффатский тоннель сечением 4,8×7,2 м и длиной 9 800 м. Начатый в 1922 году, почти одновременно с ним, тоннель Шилизу в Японии, протяжённостью 9 700 м, был завершён лишь в 1931 году.

В сложных гидрогеологических условиях велось строительство Таннского тоннеля длиной 7 800 м, расположенного на железной дороге Токио—Кобэ. Строительство было начато в 1918 году и завершено в 1934 году. В 1936—1941 годах в Японии под Симонесским проливом был построен один из первых в мире протяжённых подводных тоннелей. Его длина составила 6 330 м.

В 1939 году в Кардифоре (США) был построен, по-видимому первый в мире, подземный гараж. Заглублённый под одну из площадей города на 10,7 м, он одновременно являлся убежищем для населения на особый период. С 1940 года в США начинают активно использоваться заброшенные выработки в известковых карьерах в качестве холодильников для длительного хранения скоропортящихся пищевых продуктов. Исследования, проведённые американскими специалистами, показывают, что в подземных известковых выработках в течение длительного времени сохраняются постоянная температура и влажность. В случае отключения приборов охлаждения температура в подземных складских помещениях поднимается на 3 °С в течение 60 дней.

А в 1948 году в г. Наантали (Финляндия) было сооружено одно из первых в мире подземных нефтехранилищ.

До начала Второй мировой войны в Германии шло интенсивное строительство подземных заводов. Для этого использовались: существующие горные выработки с расширением отдельных участков до необходимых размеров;

горизонтальные горные выработки внутри холмов или гор; подземные и полуподземные сооружения, возводимые в глубоких котлованах (нередко использовались глубокие овраги, тальвеги и прочие естественные углубления).

Одним из наиболее крупных был завод для производства ракетных установок ФАУ-1 и ФАУ-2 в Нордхаузе (Тюрингия), расположенный внутри большого холма. Завод состоял из двух параллельных тоннелей длиной 2,3 км и шириной 12,5 м, расположенных на расстоянии 1,4 км один от другого. Тоннели соединялись друг с другом 46-ю поперечными выработками. Общая полезная площадь подземного пространства составляла около 15 га.

По окончании Второй мировой войны строительство подземных заводов приобрело широкий размах в Великобритании. Для этого, обычно, использовались заброшенные горные выработки. Например, в одной из заброшенных шахт, существовавшей ещё в Первую мировую войну, был размещён подземный завод по изготовлению деталей самолётов. Общая полезная площадь завода составляла около 6 км².

Говоря об истории подземного строительства, нельзя обойти вниманием такой немаловажный аспект, как строительство подземных гидротехнических сооружений, отличающихся наибольшей сложностью и трудоёмкостью по сравнению с промышленными и гражданскими объектами. Так, можно привести следующее сопоставление: площади поперечного сечения камерных выработок для машинных залов, уравнительных резервуаров и распределительных устройств подземных ГЭС нередко превышают 1 000 м², гидротехнических тоннелей — 200 м², в то время как площадь поперечного сечения перегонных тоннелей метрополитена составляет 20—25 м² [Мостков, Орлов, Степанов, 1986]. В качестве примера приведём проект подземного машинного зала Рогунской ГЭС (рис. 1.6). Подземный машинный зал Рогунской ГЭС длиной 320 м, шириной 27 м и высотой 64 м запроектирован на глубине 500 м от поверхности земли. В непосредственной близости от него — помещение силовых трансформаторов шириной

20 м, высотой 38 м и длиной 180 м, отделённое от машинного зала скальным целиком шириной 38 м. Общий объём подземных выработок на Рогунском гидроузле — около 5,3 млн. м³, а их протяжённость — около 60 км.

Широко распространено строительство подземных ГЭС в Италии. Подземные машинные залы станций Ампецо, Глоренца, Акри и др. имеют поперечное сечение коробового типа, аналогичное Рогунской ГЭС. Экономические расчёты, выполненные итальянскими проектировщиками, показывают, что расположение трансформаторов в подземной выработке, в непосредственной близости от машинного зала (закрытое распределительное устройство — ЗРУ), даёт около 50 % общей экономии по сравнению

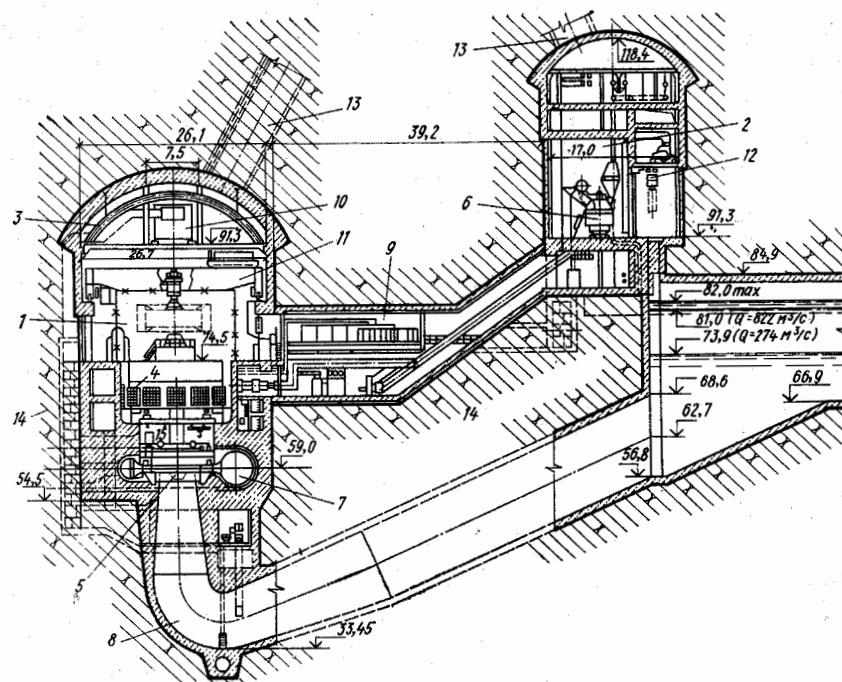


Рис. 1.6. Разрез по машинному залу Рогунской ГЭС (проект):

1 — машинный зал, 2 — помещение трансформаторов и затворов отсасывающих труб, 3 — защитный свод, 4 — гидрогенератор, 5 — гидротурбина, 6 — силовой трансформатор, 7 — турбинная камера, 8 — отсасывающая труба, 9 — тоннель токопровода, 10 — кондиционер, 11 — мостовой кран, 12 — монорельсовая тележка, 13 — вентиляционная шахта, 14 — вмещающий горный массив, 15 — турбинная шахта

с наземным расположением (открытое распределительное устройство — ОРУ) [Барбакадзе, Давыдов, 1983].

На Тихоокеанском побережье Канады расположена крупная подземная ГЭС «Нечако-Кемано».

Во Франции подземная ГЭС Монпеза на р. Фонтельер заглублена на 60 м от поверхности земли. Длина машинного зала ГЭС составляет 60 м, ширина 13,5 м, высота 27 м. Вода подаётся по деривационному тоннелю протяжённостью 17 км.

В Финляндии с 1956 по 1975 годы построены 4 подземных ГЭС. Крупнейшая подземная ГЭС в стране — «Пирттикоски», находится в верхней части устья р. Кемийоки. Машинный зал станции, построенной в 1956—1959 годах, пройден на глубине 100 м от уровня моря. Вода на гидротурбины подаётся по двум напорным тоннельным водоводам длиной 60 м каждый, с площадью поперечного сечения 130 м², а отводится по напорному тоннелю площадью сечения около 400 м². По данным на 1989 год этот тоннель был второй в мире по площади поперечного сечения [Саари, Рейнисто, Лайне, 1993].

В 1979 году в Финляндии был построен гидротехнический тоннель протяжённостью 120 км (площадь поперечного сечения 15,5 м²). Он используется для водоснабжения Хельсинки путём подачи воды из озера Пяйаянне в водохранилище Силвола.

Примерно в тоже время в СССР, в чрезвычайно сложных инженерно-геологических условиях, был построен тоннель для переброски стока р. Арпа в оз. Севан (рис. 1.7). Общая протяжённость тоннеля 48 км [Мостков, 2001].

Не меньшую сложность представляет собой строительство подводных тоннелей. В 1983 году в Санкт-Петербурге был возведён автодорожный тоннель протяжённостью около 1 км, обеспечивающий постоянную транспортную связь между Канонерским и Гутуевским островами. Подводный участок, протяжённостью 375 м, сооружён из опускаемых секций длиной 75 м, шириной 13,3 м и высотой 8,05 м, выполненных из монолитного железобетона с наружной теплоизоляции.

В 1988 году в Японии был введён в эксплуатацию тоннель «Сейкан», проходящий под дном Салгарского пролива на глубине 240 м и связывающий между собой острова Хонсю и Хоккайдо. Его протяжённость — 53 850 м. Строительство тоннеля про-

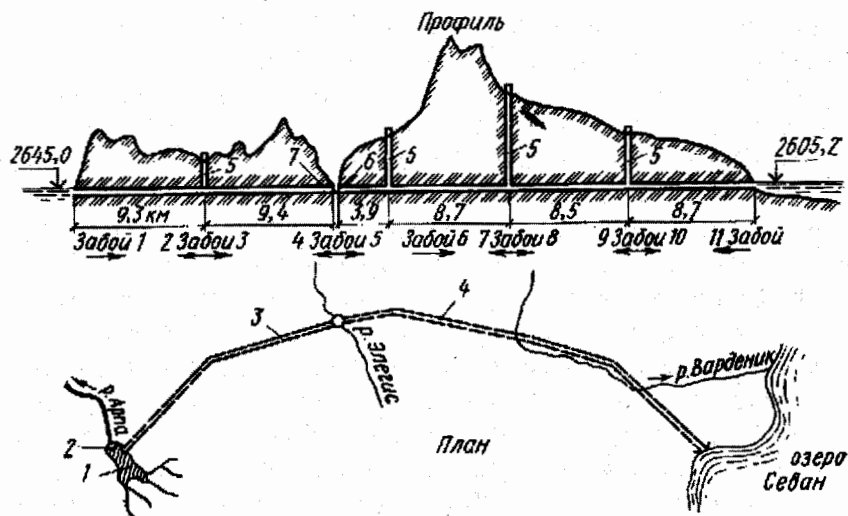


Рис. 1.7. Гидротехнический тоннель Арпа—Севан:

1 — Кегчутское водохранилище; 2 — плотина; 3 — тоннель № 1; 4 — тоннель № 2; 5 — строительная шахта; 6 — входной портал тоннеля № 2; 7 — выходной портал тоннеля № 1

должалось более 40 лет. Сооружение представляет собой три параллельно идущих тоннеля: диаметром 11,1 м — основной, по которому идут поезда, и диаметрами 5 м — два служебных. Основной и вспомогательные тоннели связаны между собой системой коридоров и переходов. С поверхностью «Сейкан» соединён двумя порталами — в начале и в конце тоннеля, и несколькими вертикальными и наклонными шахтами, оснащёнными мощными грузовыми лифтами. Каждый из таких лифтов способен спустить вниз и поднять на поверхность несколько грузовых автомобилей одновременно. Под проливом, на случай чрезвычайных ситуаций, имеются две просторные станции.

В июне 1991 года закончилась проходка 50-ти километрового комплекса тоннелей под проливом Ла-Манш. Также как и «Сейкан», транспортный подземный комплекс под Ла-Маншем представляет собой систему из трёх тоннелей: два перегонных однопутных железнодорожных тоннеля наружным диаметром 8,36 — 8,72 м, а между ними служебный тоннель диаметром 5,38 — 5,77 м (рис. 1.8).

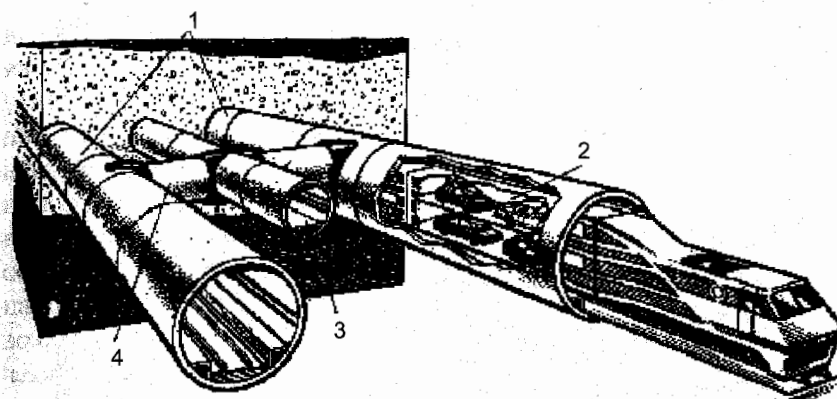


Рис. 1.8. Подводный тоннель под проливом Ла-Манш:

1 — основные тоннели, 2 — железнодорожная платформа для перевозки автомобилей, 3 — вспомогательный тоннель, 4 — поперечные сбойки

Большие объёмы подземного строительства в последние годы ведутся в Москве. Это, в первую очередь, Торгово-рекреационный комплекс «Охотный ряд» на Манежной площади, подземный гараж на Театральной площади, комплекс «Москва-Сити», подземный комплекс на Поклонной горе, значительное число автостоянок, подземных переходов и транспортных тоннелей.

ТРК «Охотный ряд» (рис. 1.9) относится к многоцелевым подземным сооружениям и включает: торговый центр с грузовым двором, офисы, археологический музей, предприятия общественного питания и искусственное русло р. Неглинки. Комплекс расположен в древнейшей части Москвы на стеснённом участке (между тремя линиями метрополитена, с сохранением движения наземного транспорта) в чрезвычайно сложных гидрогеологических условиях. Параллельно с его строительством выполнялся полный перенос подземных коммуникаций на площади более 5 га. Технические решения помещения ТРК проектировались с учетом снижения шума и вибрации от метрополитена и автотранспорта.

В настоящее время в Москве начинается строительство двух параллельно расположенных автотранспортных тоннелей диаметром около 14 м и площадью поперечного сечения более 150 м². Трасса тоннелей проходит в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях через заповедную зону



Рис. 1.9. Дизайн внутренних помещений торгово-рекреационного комплекса «Охотный ряд». Москва

исторического и архитектурного памятника «Лефортово». Одна из важнейших проблем, сопровождающих строительство — это условие полного сохранения заповедной зоны, исторических зданий, сооружений и садово-паркового массива, что требует применения практически безосадочной проходки тоннелей. Для этого применяется специализированный тоннелепроходческий щитовой комплекс с пригрузом забоя. Специальная технология безосадочной скоростной проходки и использование водонепроницаемой железобетонной обделки позволяют исключить любые воздействия на поверхность заповедной зоны и на гидрогеологические условия района как во время строительства, так и на период эксплуатации тоннеля.

Многие отечественные и зарубежные специалисты в области подземного строительства считают, что «интенсивное освоение подземного пространства будет основной тенденцией в XXI столетии из-за перенаселённости больших городов и необходимости создания новой среды обитания людей» [Лернер, Петренко, 1999].

1.2. Освоение подземного пространства на территории России и стран СНГ*

- О, как же ты здесь? Как ты пришла?
- Подземным ходом.
- Разве есть подземный ход?
- Есть.
- Где?...
- Спустишься в яр и перейдя проток, так, где тростник.
- И выходит в самый город?
- Прямо к городскому монастырю.

Н.В. Гоголь. «Тарас Бульба»

Использование подземного пространства в России — это отдельная страница в истории, культуре и науке нашей страны, с которой связано множество самых противоречивых сведений. Практически каждый второй взрослый мужчина расскажет о

* Разделы 1.2 и 1.3 излагаются по циклу статей: Конюхов Д.С. «Освоение подземного пространства на территории России и стран СНГ», опубликованных в 2001 году журналом «Стройклуб».

том, как в детстве он с друзьями лазил в подземный ход, где «было душно и гасли свечи», по которому они прошли несколько километров и вышли на поверхность в подвале или церкви, которых сейчас уже нет. Большинство такого рода рассказов своей основой имеют не личные наблюдения рассказчика, его друзей, знакомых и т.д., а являются фрагментами, так называемой, «Легенды о четырёх крестах». Суть этого мифа заключается в том, что в период с IX по XVIII вв. на четырёх окраинах Русского государства были созданы тайные подземные системы сообщений между подземными ярусами городов-крепостей, имевшие оборонное и мистическое значение:

1. киевская система: Киевский крест;
2. северо-западная система: Псков, Изборск, Печоры, Остров, Гдов, Порхов, Новгород Великий, Тихвин, Ивангород, часть современной Ленинградской области;
3. восточная система: Уральский крест;
4. южная система: Крым, Краснодар, Средняя Азия.

По легенде, к XVI в. на Руси был создан каменный пояс, представляющий собой оборонительную систему из каменных крепостей, связанных между собой наземными дорогами и подземными ходами.

Таким образом, четыре креста представляют собой четыре укрепрайона, защищавшие Русь от врага. В свою очередь, четыре главных укрепрайона делятся на 137 более мелких подземных районов.

В какой степени эти сведения соответствуют реальному положению вещей — неизвестно. Встречается информация о том, что с поверхности ходы тайных систем обнаруживают профессиональные лозоходцы и геофизики, есть рассказы «старожил» и местных жителей о походах по этим ходам (в большинстве рассказов фигурирует длина пути 4 км: «Далее не совались. Но это не тупик, ход шёл дальше»), однако никаких достоверных сведений о проникновении в эти ходы нет. Возможно, что при геофизических исследованиях обнаруживаются не физические неоднородности в структуре массива, каковыми являются, например, подземные ходы, а энергетические аномалии. Тем не менее, реально исследованное и документально подтверждённое количество подземных объектов в нынешних и прошлых границах России чрезвычайно велико и само по себе может послужить основой для любой легенды.

Древнейшие подземные сооружения на территории Российской Федерации и стран СНГ — это жилые естественные и искусственные пещеры и землянки, датируемые поздним палеолитом и неолитом. Наиболее известна «Капова пещера» на Урале (рис. 1.10). Она представляет собой множество больших и малых пещер, связанных между собой переходами и трещинами. Археологами были обнаружены в ней более 50 наскальных рисунков. В основном, это изображения мамонтов, бизонов, лошадей. К этому же периоду времени относятся могильники (ямы, катакомбы и склепы) на Кавказе и Алтае. К более раннему ашельскому времени относят каменные стенки перед входом в грот Кийк-Коба в

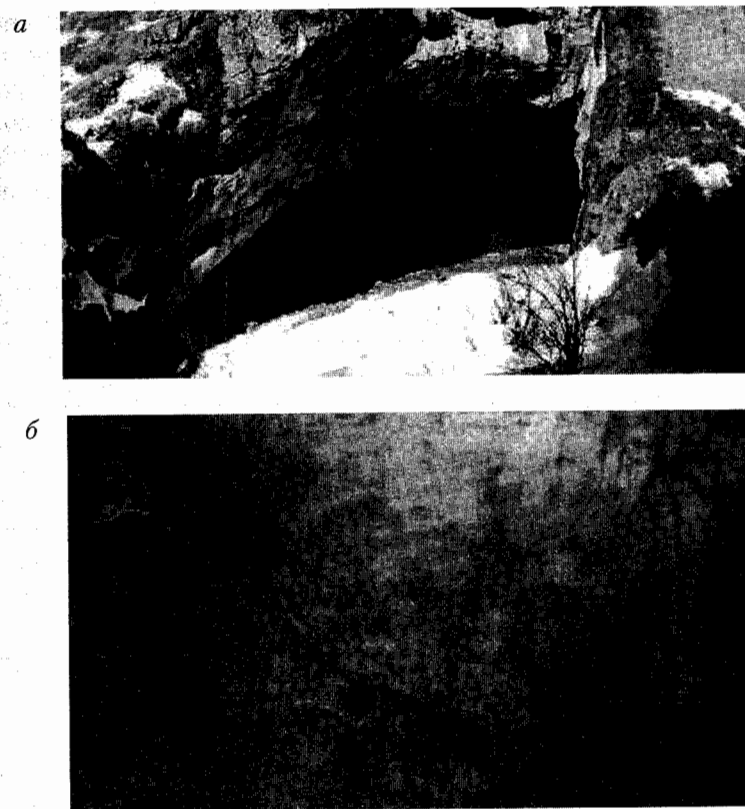


Рис. 1.10. «Капова пещера». Урал:
а — вход, б — наскальная живопись

Крым. На западе Украины существуют штольни по добыче кремневой серы, относящиеся к энеолиту. На севере Туркменистана исследователями обнаружены 5 пещерных городов, состоящих более чем из 200 пещер, датированных поздней бронзой, ранним и поздним средневековьем — вплоть до XVII в. На Каме, в устье реки Белой, булгарами был построен крупный подземный город-лабиринт, использовавшийся для жилья и укрытия от набегов.

С возникновением Киевской Руси и развитием городов широкое распространение получили крепостные подземные сооружения оборонительного характера. В основном, это были ходы различного назначения: водозаборные, слухи, мины, контрмины, для осуществления вылазок и проч. Значительно реже встречаются подземные убежища. На возвышенных берегах Дона расположены уникальные оборонные сооружения — подземные наблюдательные пункты, представляющие собой небольшие полости со скрытыми входами и малозаметными амбразурами, сквозь которые местность просматривается на большие расстояния. Типичным примером такого наблюдательного пункта является пещера Каземат у села Селявное Воронежской области.

Таблица 1.1. Схематическая периодизация археологических эпох для территории СНГ (от палеолита до раннего железного века)

Эпоха	Периодизация		Абсолютный возраст, тыс. лет
Эпоха камня	Нижний (ранний) палеолит	Олдувай	2500–1000
		Ранний ашель	1000–200
		Средний ашель	200–130
		Поздний ашель	130–80
	Средний палеолит	Мустье	80–35
	Поздний палеолит		35–12
	Мезолит		12 – 7
Эпоха палеометалла	Неолит		7 – 2 тыс. до н.э.
	Энеолит		IV–II тыс. до н.э.
	Бронза		III тыс. до н.э. — конец I тыс. до н.э.
Железный век			Конец I тыс. до н.э. — середина I тыс. н.э.

Древняя Русь переняла, освоила и развила фортификационный опыт Византии, поэтому на протяжении тысячи лет ни один укрепленный пункт, будь то город, крепость или монастырь, не обходились без подземных оборонительных сооружений. К сожалению, осталось не так много документальных свидетельств об их местонахождении, в результате чего, в настоящее время, значительная часть этих объектов мало доступна для исследователей: часть разрушена или погребена при позднейшей перестройке городов, часть забыта и потеряна. Лишь изредка, при строительных работах, обнаруживают фрагменты древних подземных ходов.

Наиболее интересен с этой точки зрения грандиозный комплекс подземных сооружений на территории Москвы. Начало его создания историки относят к XV в. Вокруг подземной Москвы создано много легенд, слухов, опубликовано множество художественных произведений, наиболее известными из которых являются книги Г.В. Алексеева «Подземная Москва» и В. Гоника «Преисподняя». Изучение московских подземелий всегда сопровождалось трудностями различного характера, но тем не менее известны подземные ходы Кремля и Китай-города; московских монастырей: Новодевичьего, Симонова, Донского, Чудова и многих других; Боровицкого холма в районе Чертолье (древний район Москвы, примерно ограниченный набережной Москвы-реки, Храмом Христа Спасителя, Кропоткинским бульваром, Домом Пашкова и комплексом зданий Министерства обороны; последние имеют свои сети подземных ходов и тоннелей); хозяйственные подвалы Солянки и Замоскворечья, а также многие другие подземные объекты, часть из которых будет рассмотрена в дальнейшем.

Подземные оборонительные ходы имел и каждый из городов-крепостей, окружавших Москву: Ярославль, Ростов Великий, Суздаль, Тверь, Калуга, Ржев, Можайск, Верея, Волоколамск, Перемышль, Таруса, Кашира, Алексин и др. Развитие оборонительные системы имели Троице-Сергиева Лавра, Иосифо-Волоколамский, Новоиерусалимский, Николо-Берлюковский, Симонов и другие монастыри московской области.

Аналогичные сети секретных подземных фортификационных сооружений (тайников, вылазов, слухов, противоминных гале-

рей) были возведены в X—XV вв. в Старой Ладоге, Пскове, Копорье, Изборске, Порхове, Новгороде, Орешке, Кореле, Ямгороде, Ивангороде и других городах. Например, в Ивангороде был построен ход под р. Нарвой, для чего реку на период строительства отводили в сторону. В Выборгском Замке известен ход Иогана Де-Порте, построенный в XVI в.

Под влиянием северной, псковско-новгородской и московской традиций подземного строительства возводились такие крепости как Галич, Углич, Нижний Новгород, Вятка, Муром, Елабуга. Во всех этих городах имеются подземные тайники, пороховые погреба, подвалы. Сложные системы подземных ходов существуют в Пензе и Царицыне. В Тобольском кремле, представлявшем собой типичную крепость в стиле Северо-Западной Руси, системой подземных ходов были связаны ключевые пункты обороны. В Чныррахской крепости в устье Амура подземными ходами были соединены все крепостные сооружения.

В XVI в. на Украине была выстроена Белгородская крепость. Первоначально она строилась на Белой горе, где крепостные тайники и подземные ходы были пройдены в меловых отложениях. Затем, в начале XVII в., крепость была перенесена на болотистый левый берег реки, где строительство подземных сооружений стало невозможным. В середине XVII в. крепость была построена в центре нынешнего Белгорода. В итоге образовалась сложная сеть подземных ходов.

Большие подземные убежища были построены в XVI—XVII вв. у городка Чигирин Черкасской области.

С конца XIX в. севернее Санкт-Петербурга, вплоть до Кольского полуострова, возведены многочисленные подземные объекты оборонительного характера. Часть подземных ходов и бункеров связана со строительством в 1930-х годах линии Маннергейма и боевыми действиями Второй мировой войны. Заброшенные и частично затопленные военные бункеры имеются в Самаре.

Много слухов и легенд связано с подземными сооружениями оборонного назначения, возведёнными в первой половине XX в. Не является исключением подземный уровень Кёнигсбергского укрепрайона. В пределах города было множество сообщающихся между собой подвалов, в том числе двух- и трёхъярусных, при-

надлежащих как военным фортам, так и гражданским зданиям. Эти подвалы использовались немецкими войсками при обороне города, что, по-видимому, и послужило основой легенды об огромной сети подземных сооружений. В настоящее время практически все эти подвалы засыпаны. Имеются упоминания о построенном в годы войны неподалёку от города подземном авиационном заводе, ныне затопленном.

Многочисленные заброшенные подземные сооружения оборонного назначения были построены в 1930-х годах японскими военными на Курильских островах и советскими — на Камчатке (рис. 1.11).

В 1942 году возле посёлка Каменка Харьковской области немецкая армия силами военнопленных возвела в песчанике систему подземных складских помещений.

В Кировоградской области одесскими спелеологами обнаружены подземные бункеры времён Второй мировой войны.

Говоря о подземных сооружениях оборонного назначения, нельзя не упомянуть о Мезерицком укрепрайоне, созданном немецкими войсками с 1927 по 1937 годы в окрестностях польского городка Мендзижече. В секретных документах немецкой армии этот оборонительный комплекс носил название «Regenwurmlager» — «Лагерь дождевого червя». По предположениям отечественных военных специалистов, проводивших обследование, ук-

Рис. 1.11. Тоннель заброшенного подземного сооружения специального назначения. г. Владивосток



репрайон основной своей частью располагается под озером Кши-ва, часть которого создана искусственным путём, и представляет собой подземный город с полностью автономным жизнеобеспечением. Комплекс подземных сооружений включает в себя камерные выработки для размещения личного состава (в годы войны здесь размещались два полка и учебный центр дивизии СС «Мёртвая голова»), узлы связи, склады боепитания и продовольствия, системы жизнеобеспечения, включая подземную гидроэлектростанцию, сеть пешеходных, железнодорожных и автотранспортных тоннелей, соединяющих казармы с мощными дотами и артиллерийскими капонирами, а также с подземными заводом и стратегическими хранилищами в районе сел Высока и Пески, находящихся в двух—пяти километрах западнее и севернее озера. В лесу вокруг озера сохранились мощные железобетонные доты. Когда-то они были вооружены крупнокалиберными пулемётами и пушками, оборудованы механизмами полуавтоматической подачи боеприпасов. Под метровой бронёй колпаков на глубину порядка 30—50 м уходят подземные этажи. Кроме вышеперечисленного, в комплекс подземных сооружений входит система тоннелей, названных военными «подземным метро». Было установлено, что габариты ствола «подземного метро» составляют, примерно, три метра. Ствол плавно опускается и уходит под землю на пятидесятиметровую глубину. Там тоннели разветвляются и пересекаются, имеются транспортные площадки-развязки. Стены и потолок тоннелей выполнены из железобетонных плит, пол выложен прямоугольными каменными плитами. Тоннель был пройден в западном направлении, к Одеру, до которого от Кеньшицы по прямой около 60 км. На участке, где тоннель уходит под Одер, выработка приотплена. Предполагается, что именно по этому тоннелю в 1937 году в лагерь из Берлина (?) прибыл Гитлер.

Сейчас в подземном городе обитает уникальная колония летучих мышей.

Интересны остатки недостроенного в 1951—1953 годах тоннеля под Татарским проливом к острову Сахалин. В октябре 2000 года остатки строительства были обследованы группой проектировщиков будущей железнодорожной линии от Комсомольска-на-Амуре до мыса Лазарева [Кулагин, 2001]. Им был обнаружен пройденный на материковом берегу на глубину около 60 м

ствол № 1, остатки временных сооружений и находящаяся под водой дамба к искусственным островам в проливе, созданным для устройства вентиляционных и рабочих стволов.

Широкое распространение получили культовые подземные сооружения — храмы, монастыри и захоронения. Характерной особенностью русских пещерных монастырей является то, что, как таковых, полностью пещерных монастырей, практически, не существовало: подземная часть, в основном, входила в общий монастырский комплекс и была не слишком велика — от нескольких сотен метров, до, изредка, — нескольких километров.

Уникальным объектом для исследований является урочище Каменная Могила в Запорожской области. Здесь, под останцом песчаника, в период с XIV тысячелетия до н.э. по XII в. н.э. возводились культовые пещеры, взаимосвязанные с расположенными поблизости естественными гротами и навесами. Все подземные помещения урочища расписаны рисунками и надписями исключительной исторической ценности.

Наибольшим числом подземных культовых объектов характеризуется территория Киевской Руси. Здесь существует множество пещерных храмов и монастырей, построенных в меловых отложениях. Среди них можно назвать Святогорский Успенский монастырь, церковь Антония и Феодосия Печёрских, Арсениевский скит, Белгородский монастырь, Шатрищегорский Преображенский монастырь, Успенский Дивногорский монастырь, другие подземные храмы.

На левом берегу Днестра, у села Стенка Монастырского района Тернопольской области, располагается раннехристианский пещерный храм. Храм в плане имеет неправильную трапециевидную форму. Протяжённость самой длинной стены — 8 м, ширина — 9 м, высота — 4 м. В середине восточной стены находится алтарная часть квадратной формы, заглублённая во вмещающую породу на 3 м. По найденным в храме фрагментам гончарной посуды сооружение датируется XI—XIII вв.

В селе Межгорье Борщёвского района Тернопольской области на территории бывшего Василианского монастыря находится подземный храм. Помещение храма вытесано в природном гроте, образовавшемся в результате выветривания известняка и по культурному слою датируется примерно XV—XVI вв.

Возле села Отроков Новоушицкого района Хмельницкой области находится пещерный скит, представляющий собой прорубленную в склоне речной террасы галерею длиной около 40 м, при средней ширине 0,7–0,8 м и высоте 1,7 м. В средней части галерея расширяется до камеры шириной 3 м. Архитектурные особенности галереи, аналогичные некоторым пещерным монастырям на территории Киевской Руси, показывают, что она являлась раннехристианским скитом, вмещавшим двух–трёх отшельников.

Чрезвычайно развитую подземную систему имеет Киев. Она включает в себя сотни подземных сооружений различного назначения, древнейшие из которых — Кирилловские пещеры — были созданы ещё в неолите.

Варяжские пещеры Киево-Печёрской Свято-Успенской лавры впервые упоминаются в 1013 году (рис. 1.12). Они состоят из 9 подземных коридоров, построенных, приблизительно, в первой половине XI в., и двух монашеских келий XI и XV–XVII вв. Пер-



Рис. 1.12. Варяжские пещеры Киево-Печёрской лавры

воначальная форма ходов, проложенных одним–двумя строителями, была прямоугольной. Ходы были соединены сбойкой с Дальними пещерами лавры, пройденной со стороны Дальних пещер. В XV–XIX вв., для защиты подземелий от нагрузок и обрушений, поперёк входов в предвходовой части и в месте соединения Варяжских и Дальних пещер, были установлены 5 кирпичных стен. В XVII–XIX вв. в местах обвалов проводились ремонтно-восстановительные работы, при которых сечение хода преобразовывалось из прямоугольного в сводчатое, а стены полировались.

Большинство подземных культовых сооружений Древней Руси характеризуется целым рядом особенностей.

— Практически все объекты расположены в меловых отложениях. По-видимому, плотность размещения подземных сооружений связана с распространением относительно крепких, но легко разрабатываемых пород — мелов и известняков.

— Большинство объектов расположено на правом крутом берегу постоянных водотоков на господствующих высотах. Поблизости всегда имеется транспортная магистраль. Нередко в непосредственной близости от монастыря обнаруживаются следы более древних поселений: в окрестностях Святогорского монастыря — палеолитические стоянки, рядом с Дивногорским монастырём — руины хазарской крепости.

— Практически все подземные объекты имеют достаточно хорошую сохранность свода и стен.

— Ни один из объектов не имеет внутренних источников воды. Среди монахов (если монастырь действующий) и местных жителей распространены легенды от наличия подземного хода под рекой. Подобный ход обычно не находят, однако в большинстве случаев обнаруживаются остатки ходов, идущих в сторону реки. Вероятно, что они использовались для скрытного подхода к берегу с целью забора воды и выхода к плавсредствам.

Среди элементов подземных культовых сооружений Древней Руси можно выделить следующие:

— горизонтальные ходы — преобладающий элемент культовых подземелий. Обычно имеется кольцевой ход, опоясывающий зал (видимо, по аналогии с ходами, идущими по периметру или по спирали в стенах древних наземных церквей). Иногда ходы могут образовывать сетчатый лабиринт. В Славяногорском мона-

стыре исследователями отмечена следующая закономерность — все длины участков ходов между поворотами и ответвлениями кратны 5 (с дробями);

— наклонные ходы — обычно используются для сообщения между этажами. Ход обычно наклонён на $15-18^\circ$, редко больше. Иногда имеются вырубленные ступени. Размеры наклонных и горизонтальных ходов практически всегда одинаковы: ширина от 0,8 до 1,2 м, высота — от 1,6 до 1,8 м. Изредка встречаются ходы с высотой меньше 1 м, либо, в местах пересечения разноуровневых ходов, высота может достигать 3,5 м;

— залы — крупные полости, у которых один из размеров превышает 5 м. В залах, обычно, располагается храм. Для поддержки свода нередко оставлены породные целики. Свод плоский или куполообразный. Высота выработок может приближаться к 5 м;

— камеры — небольшие выработки, обычно прямоугольной формы. Камеры использовались как кельи, трапезные, хозяйственные помещения, усыпальницы.

Из элементов подземной архитектуры в подобных сооружениях наиболее часто встречаются:

ниши (абсиды), предназначенные для черепов и мошей;

колонны и полуколонны, использовавшиеся в ритуальных целях; могут быть украшены резьбой или росписью;

ниши под иконы — небольшие вырубki квадратной формы в стенах, расположенные на высоте человеческого роста;

дымоходы и вентиляционные каналы;

высеченные кресты;

выемки для свечей.

Обширную подземную систему имеет Ростов-на-Дону. Здесь есть крепостные и городские подземные ходы, хозяйственные объекты, каменоломни, погребальные камеры курганов.

На Северном Кавказе в период с VIII по XII вв. были построены несколько групп подземных некрополей.

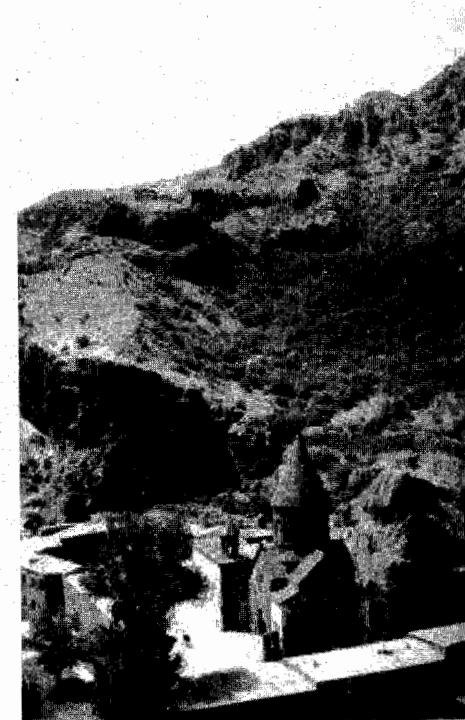
Примерно в IV в. в Армении был основан знаменитый монастырь Гехард (рис. 1.13), славящийся своей подземной архитектурой. Начало этому монастырю положила обитель Айриванк (пещерный монастырь), расположенная в естественных и искусственных пещерах. В IX—X вв. монастырь подвергался неоднократным нападениям арабских захватчиков, вследствие чего до

Рис. 1.13. Монастырь Гехард. Армения

нашего времени не дошла ни одна из первоначальных построек. Существующий ансамбль Гехарда относится к XII—XIII вв. Первой, около 1177 года, была построена часовня св. Григория Просветителя, расположенная в скале высоко над дорогой. К 1240 году было закончено строительство пещерной церкви Авазан (Бассейн), высеченной на месте древней пещеры с родником. Во второй половине XIII в. были выстроены: пещерная церковь Астваццин, несколько усыпальниц, а в скалах, окружающих монастырь, были устроены многочисленные пещеры — кельи. Все подземные сооружения устраивались в несколько ярусов (рис. 1.14).

Много подземных монастырей расположено на территории нынешней Черкасской области: Мотронинский, Успенский Ирдинский Виноградский монастырь, Жаботинский Онуфриевский монастырь и др.

С XV в. существует Псково-Печёрский монастырь с подземными некрополем, храмом и кельями. Первой постройкой и главной достопримечательностью монастыря является Успенская церковь (рис. 1.15) — пещерный трёхнефный храм с поперечными проходами, вырытый монахами в Святой горе. Проходы образуют семь подземных «улиц» с захоронениями в естественных или искусственных пещерах: в конце Воскресенской улицы — подземный храм Воскресения Христова, в конце Братской — Старобратское и Новобратское кладбища для монахов.



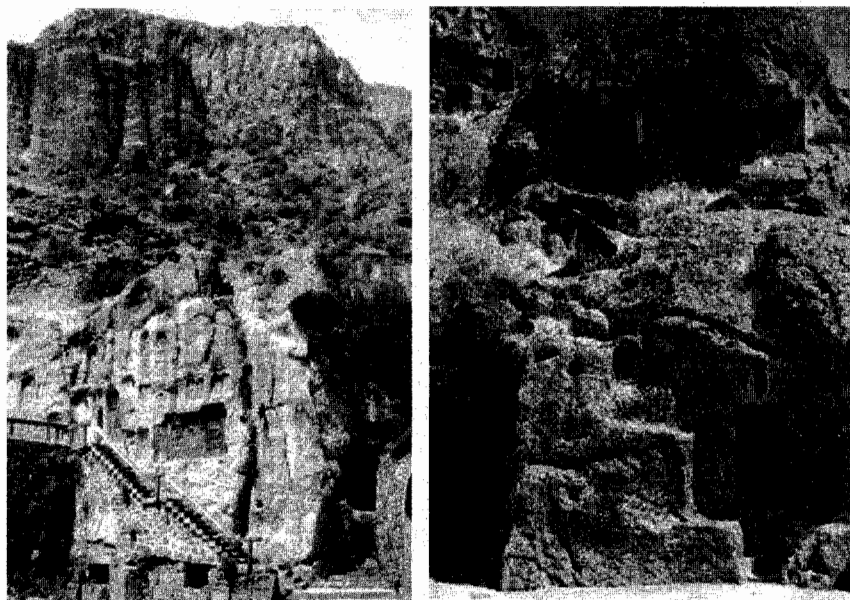


Рис. 14. Вход в подземные помещения монастыря Гехард

На реке Плюсса в Новых Печёрах Псковской области есть культовый подземный ход. Культовые пещеры встречаются в Ленинградской и Новгородской областях. Нижегородский подземный монастырь игумена Дионисия был основан, примерно, в XVI в. На реке Осетр в Тульской области небольшая каменоломня была переоборудована в часовню или келью отшельника. В Новомосковском районе в середине XIX в. в Араповских пещерах местные крестьяне пытались основать подземный монастырь. В Вытегре (Вологодская обл.) есть подземная галерея-некрополь. На территории Пензенской области и граничащих с ней районов соседних областей часто встречаются культовые пещеры, размещённые, в основном, в глинистых грунтах. Одна из них — пещера Троице-Сканова монастыря в городе Наровчат имела сеть ходов длиной около 670 м. В Сергиевом Посаде в настоящее время идет восстановление подземного Черниговского скита.

Множество подземных культовых сооружений принадлежало староверам. В XVII в. в верховьях рек Большой и Малый Иргиз

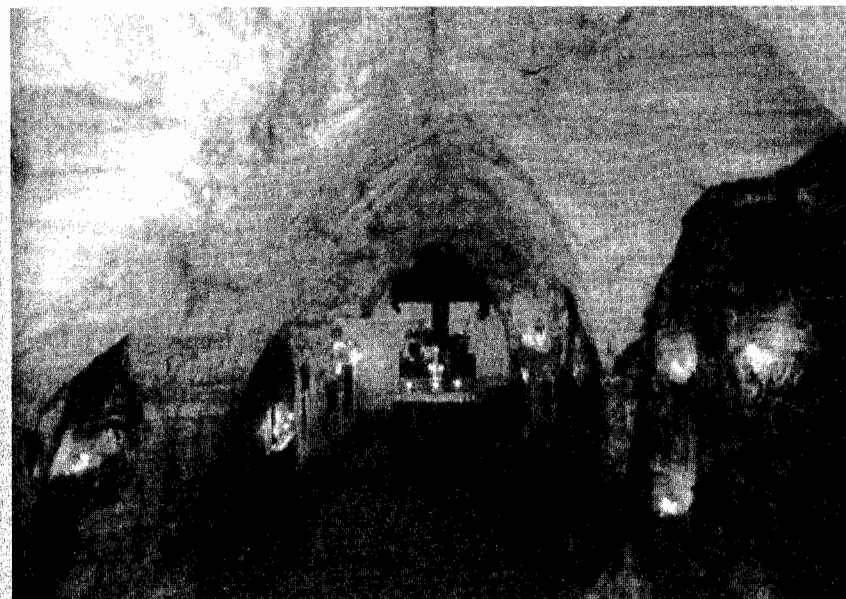


Рис. 1.15. Успенская церковь Псково-Печёрского монастыря

Саратовской области стал формироваться старообрядческий центр, располагавшийся в искусственных пещерах и шахтах. Здесь были подземные молельни, школы, скиты, жилища. В XVIII—XIX вв. одним из центров старообрядчества стал город Судиславль Костромской области. В лесах был построен скит со множеством подземных ходов. Аналогичные ходы были проложены и в самом городе. Ими буквально пронизана Соборная гора, на которой некогда располагался кремль, имеются они и в некоторых особняках купцов.

Для разработки строительных материалов и добычи полезных ископаемых использовались подземные каменоломни и другие подземные горные выработки.

Исключительно насыщен разнообразными горными выработками район Уральских гор. Добыча полезных ископаемых здесь началась за тысячи лет до н.э. Уже в IV—II тысячелетиях до н.э. Каргалинские рудники стали крупнейшим центром добычи меди в Евразии. Наибольшее развитие горные работы на Урале полу-

чили с XVIII в. С этого времени появляются заводские системы ходов, связанные с появлением нового типа поселений: городов-крепостей. Например, Соликамская система ходов первоначально развивалась как оборонительная, а затем использовалась как скрытая система сообщения. Много легенд связано с Невьяновской подземной системой, включавшей помещения для выплавки драгоценных металлов, систему коммуникационных ходов, хозяйственных подвалов, подземелья старообрядцев с молельнями и убежищами. Аналогичные подземные системы есть и в других уральских городах: Сысерти, Екатеринбурге, Верхнем Тагиле, Алапаевске.

Подземная разработка полезных ископаемых на Северном Кавказе началась, примерно, в III тысячелетии до н.э. В XIX—XX вв. здесь было заложено множество рудников, наиболее известные из которых: Эльбрусский, Тирнаузский, Садонский.

В XVIII в. многочисленные рудники были заложены в Карелии. В XIX в. южнее и восточнее Санкт-Петербурга разрабатывались большие каменоломни для добычи песчаника и известняка.

В 1720 году, по Указу Петра Первого, на вершине Серной горы на правом берегу Волги (Самарская обл.) были открыты Серные рудники, разрабатывавшиеся до 1764 года. В настоящее время рудники представляют собой систему подземных выработок, разделённую завалами на три неравные части. Их суммарная протяжённость 586 м — при средней высоте ходов 0,8 м и глубине заложения 12 м.

В XIX—XX вв. в обширных подземных каменоломнях Керчи и Одессы добывался пильный камень. Крупнейшие в мире Одесские катакомбы* включают в себя, кроме зон непосредственной разработки камня, небольшие жилые полости, подвалы, военные бункеры, подземные ходы различного назначения, разведочные

* Катакомбы — подземные своды или погребальные пещеры [Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка]; подземные галереи, первоначально те, в которых спасались христиане от преследований в Древнем Риме [Ожегов С.И. Словарь русского языка].

Одесские катакомбы — исторически сложившееся название подземных полостей, расположенных под Одессой и в её окрестностях и имеющих разное происхождение и назначение. К истинным катакомбам одесские каменоломни никакого отношения не имеют.

выработки, водяные колодцы, инженерные коллекторы, естественные карстовые пещеры и т.п. Все эти полости соединяются друг с другом в различных комбинациях и образуют сложнейшую подземную систему. Наиболее значительные из выработок имеют протяжённость десятки и сотни километров, а самая крупная превосходит 1000 км. Суммарная протяжённость катакомб, примерно, 2500 км.

Одесские катакомбы, в большинстве своём, — подземные каменоломни, в которых методом выпиливания добывался камень для строительства зданий и сооружений. В общей массе катакомб доля каменоломен составляет порядка 95—98 %. Первые подземные каменоломни возникли в Одессе в начале XIX в. Они заложены в равномерно сцементированном известняке-ракушечнике буровато-жёлтого и жёлтого цветов.

В одесских каменоломнях выявлено чёткое разграничение выработок советского и дореволюционного периодов: выработки до 1917 года имеют высоту 2,0—2,5 м, в некоторых случаях до 4 м, ширину 3+5 м; разработки советского периода характеризуются широкими (2,5—3,0 м) и низкими (1,5—1,7 м) ходами, имеющими густую сетку, из-за чего многие участки сильно деформированы и завалены. Каменоломни заложены как в один, так в два и, совсем редко, в три яруса. На многих участках выработки затоплены. За время работ по добыче известняка образовалось несколько сот каменоломен, имеющих более 1000 выходов на поверхность в виде шахтных колодцев, наклонных стволов, штолен и пр.

В многочисленных искусственных полостях исследователи находят предметы быта, хорошо сохранившиеся надписи XIX и XX вв., подземные лагеря партизан времён гражданской войны 1918—1920 годов и Великой Отечественной войны 1941—1945 годов.

Керчинские (Аджимушкайские) каменоломни входят в состав многоярусной подземной системы Крепости Керчь. Большие и Малые Аджимушкайские каменоломни — это выработки по добыче пильного известняка с глубиной заложения от 3—4 до 15 м и протяжённостью 12000 м и 9500 м соответственно. Выработка камня в них началась в конце XIX в. и продолжалась до 1950-х годов.

Оборона Аджимушкайских каменоломен с 18 мая по 15 октября 1942 года — это одна из наиболее ярких страниц истории Второй мировой войны. Более 1000 военнослужащих, окружённых в подземных выработках, в течение пяти месяцев сражались с фашистами. Большинство участников обороны погибли. Историками установлено, что против защитников каменоломен немецкими войсками были применены отравляющие газы. История этих событий мало известна. Большинство письменных источников датируется 1942 годом, а что происходило в каменоломнях позже — неизвестно.

Практически не исследованы Старицкие катакомбы в Старицком районе Тверской области (рис. 1.16), вход в которые находится на берегу Волги между Ржевом и Тверью. С XIII в. по 1928 год в каменоломнях добывался строительный белый камень, а в 1941 году здесь были устроены оружейные склады для подпольщиков. Общая протяжённость катакомб — более 30 км.

С древнейших времён строительный камень добывался в долинах рек Москва, Пахра, Десна, Лопасня, Жданка и некоторых дру-

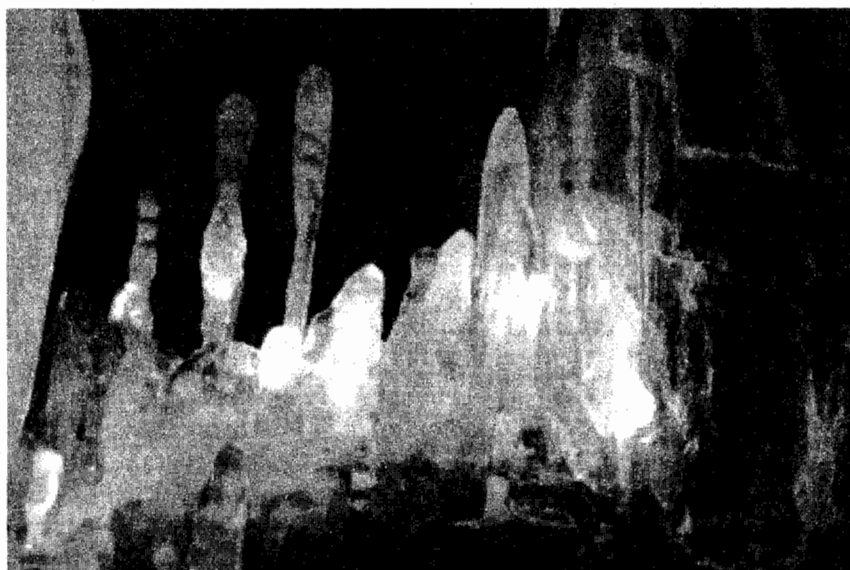


Рис. 1.16. Старицкие пещеры

гих водотоков Московской области. Крупнейшие в области Подольские каменоломни располагаются под городом Подольском и в его окрестностях. Здесь добывали карбоновые известняки и доломиты Подольского и Мячковского горизонтов. Первые каменоломни под городским парком, возникшим в 1850-е годы, принадлежали подольскому мещанину Филатьеву — подрядчику по постройке Курской железной дороги. Выработки заложены на второй террасе правого берега реки Пахры. Затем, после перехода каменоломен к служившему на них Бородачёву, работы были перенесены на левый берег реки, где и ранее уже производилась подземная разработка камня. Третья каменоломня — Филатьевская, — проходила от Февральской до Александровской улиц, четвёртая, Скворцовская, шла под Февральской улицей. Почти все они имели выход на берег реки. Значительно более древние каменоломни находились в деревнях, стоящих по берегам рек (рис. 1.17). По этим же рекам сплавлялся разработанный камень. Суммарная протяжённость подольско-мячковских каменоломен оценивается в несколько сотен километров (рис. 1.18*). Существуют легенды, что система штреков и карстовых полостей доходит до Центра Москвы.

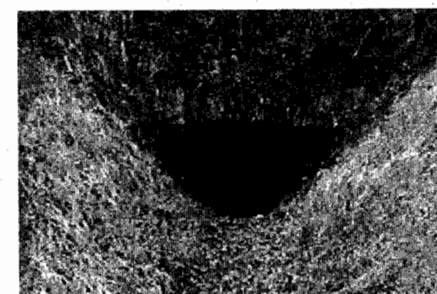


Рис. 1.17. Вход в каменоломни с берега реки и внутренний вид штрека

* Рис. 1.17 и 1.18 заимствованы с <http://lsp.dux.ru/>.

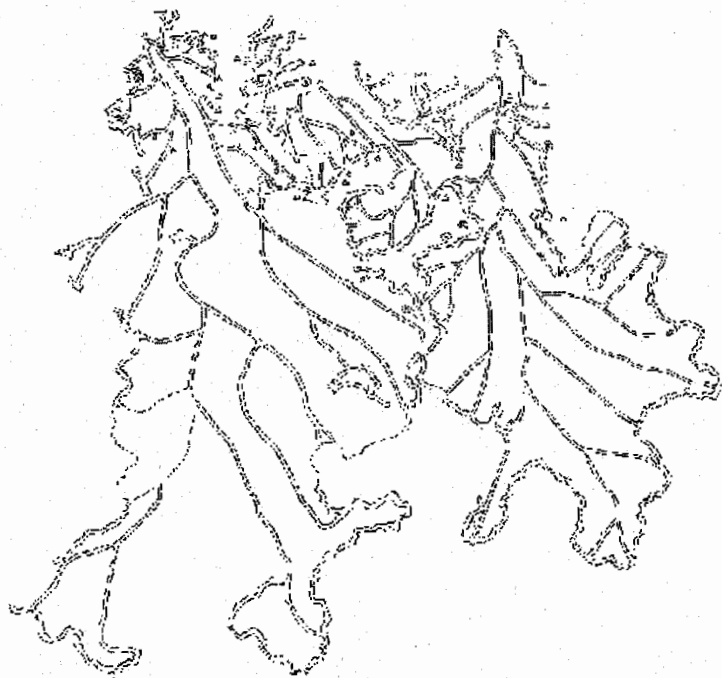


Рис. 1.18. План Девятовской каменоломни. Подольский район

Ещё одним чрезвычайно распространенным в России типом подземных сооружений являются усадебные ходы. Они сооружались в усадьбах состоятельных людей и имели самое разнообразное назначение: для скрытного перемещения, для хозяйственных нужд, для развлечений и т.п. Например, широко известны парковые подземные ходы в Вороново (Московская обл.), в имении Дашковой в селе Троицкое (Калужская обл.), в городе Всеволожск и Демидовские подземелья в посёлке Никольское (Ленинградская обл.).

Возле села Отроков Новоушицкого района Хмельницкой области, примерно в первой половине XIX в., предположительно графом Мархотским, был устроен искусственный холм, выложенный из известковых плит, с рукотворной пещерой длиной в несколько десятков метров. Подземная часть холма правдоподобно воссоздаёт морфологию естественной карстовой пещеры, с

просторными галереями шириной 1,5–2,5 м и высотой 2–3 м, узкими лазами размером 0,7×0,7 м, подземной речкой и озером, для чего в пещеру был отведён протекавший поблизости ручей. Несколько помещений использовались как жилые комнаты.

Имение «Рябово», расположенное на Румболовской горе (г. Всеволожск Ленинградской области) принадлежало А.Д. Меншикову, а после него, с 1818 года, В.А. Всеволожскому. В склонах горы существовали входы в подземные ходы, внутри горы были обнаружены несколько ходов и два зала. Время их создания и назначение неизвестны.

Обширная система подземных ходов существует под Шуваловским парком на северной окраине Санкт-Петербурга. Легенды приписывают создание этих ходов бывшему владельцу этих мест масону графу Шувалову, однако, возможно, часть из них является остатками оборонительной системы города, возведённой в годы Первой и Второй мировых войн.

Одним из крупнейших подземных сооружений Ленинградской области является построенный в конце XVIII в. Таицкий водовод. Он предназначался для обеспечения водой прудов и гидросистем Царского Села и имел длину порядка 17 км, глубину заложения — от 2,4 м до 17 м. Водовод функционировал около 100 лет и постепенно вышел из строя. В конце 1980-х годов он был восстановлен, но в настоящее время не функционирует.

1.3. Подземное строительство в Москве

В пределах старой Москвы, во всяком случае, в местности, ... ограниченной Садовым кольцом, из любого здания в любое можно попасть под землёй, не поднимаясь на поверхность.

В. Гоник. «Преисподняя»

С исторической точки зрения подземные сооружения Москвы можно классифицировать следующим образом:

- оборонные;
- торгово-складские;
- тайных дел;
- каменоломни.

Первые подземные сооружения в Москве принято относить примерно к тому же периоду, что и строительство первого каменного Кремля. Сравнительный анализ планов деревянного и первого каменного Кремля показывает, что, возможно, часть подземных ходов современный Кремль унаследовал от своего деревянного предшественника.

Известный русский историк И.Е. Забелин предполагает, что материал для Кремлёвской стены был добыт из каменоломен села Мячкова, находящегося при впадении реки Пахры в Москву-реку. Кроме мячковских, на территории, прилегающей к городу, было ещё несколько каменоломен: в Дорогомилове — часть каменоломен сохранилась до настоящего времени, доступ с поверхности через все известные ходы закрыт; на территории села Коломенского — предполагается, что на их месте впоследствии образовались Борисовские пруды, часть каменоломен, сохранившихся до настоящего времени, была засыпана при строительстве МИФИ, и некоторые другие.

Первые подземные сооружения в Москве носили оборонный характер. Это были тайники под каменными башнями Кремля и подземные ходы за его территорию, в первую очередь, к Москве-реке. «З каждой башне устраивались тайники, от них шли подземные ходы. Некоторые из них выходили за черту Кремля»*. Например, при сооружении в 1485 году Тайницкой башни итальянским зодчим Антоном Фрязиным под ней был вырыт колодец и тайный ход к Москве-реке для снабжения осаждённых горожан водой. Отсюда, как предполагается, и название башни — Тайницкая. Водовзводная (Свиблова) башня, построенная в 1488 году, также имела колодец и тайный выход к реке. В глубине Благовещенской башни (возведена в 1487—1488 годах) находился глубокий тайник.

Подземные ходы и глубокие потайные подвалы имелись не только под Кремлёвскими башнями. В частности, имеются косвенные данные о наличии подземного хода под Успенским собором Кремля. Под Сытным Дворцом, построенным в начале XVI в. Алевизом Фрязиным, находились более 30 подвалов «с

разного рода «сытным делом»*. В этих подвалах хранились десятки тысяч вёдер различных видов квасов, домашнего пива и заморских вин.

Тайники и подземные ходы к Москве-реке имеются под башнями крепостной стены Новоспасского монастыря, возведённой в 40-х годах XVII в. (монастырь располагается вблизи Крестьянской площади).

В 1534—1538 годах при строительстве китайгородской стены были устроены подземные ходы, позволяющие защитникам крепости покидать её незаметно для неприятеля. Примерно в это же время на углу нынешней Воздвиженки был построен дворец Ивана Грозного, от которого, как предполагается, в Кремль мог идти подземный ход.

Значительное количество подземных ходов шло к церквям и монастырям, которым принадлежало большое число подвалов, соединявшихся подземными ходами и образующих целые подземные лабиринты. Например, при строительстве в 1390 году Николаевского монастыря, расположенного в районе нынешней Никольской улицы, в подвалах церквей были сооружены темницы для монахов и подвалы для хранения продуктовых запасов. Обширные подземелья имеются на территории бывших Рождественского (угол ул. Рождественки и Трубной площади), Высокопетровского (ул. Петровка) (рис. 1.19), Донского (Донская пл.), Симоновского (ул. Восточная), Новоспасского (Крестьянская пл.) и Алексеевского (ул. Верхняя Красносельская) монастырей. Отдельные ходы могли соединять церкви между собой. Например, на территории Алексеевского монастыря существует подземный ход, соединяющий Крестовоздвиженский и Всехсвятский соборы.

В подклете храма Грузинской Божьей Матери, построенного в 1628 году неподалёку от Старой площади, купцом Григорием Микитниковым были устроены подземные склады товаров. Аналогичные подземные склады были возведены архангельскими купцами Филатьевыми в подклете церкви Никола Большой

* *Московский Кремль: Путеводитель.* — М.: Московский рабочий, 1990.

* *По Москве. Прогулки по Москве и её художественным и просветительным учреждениям.* Под ред. Н.А. Гейнике, Н.С. Елагина, Е.А. Ефимовой, И.И. Шитца. — М.: Издание М. и С. Сабашниковых, 1917.

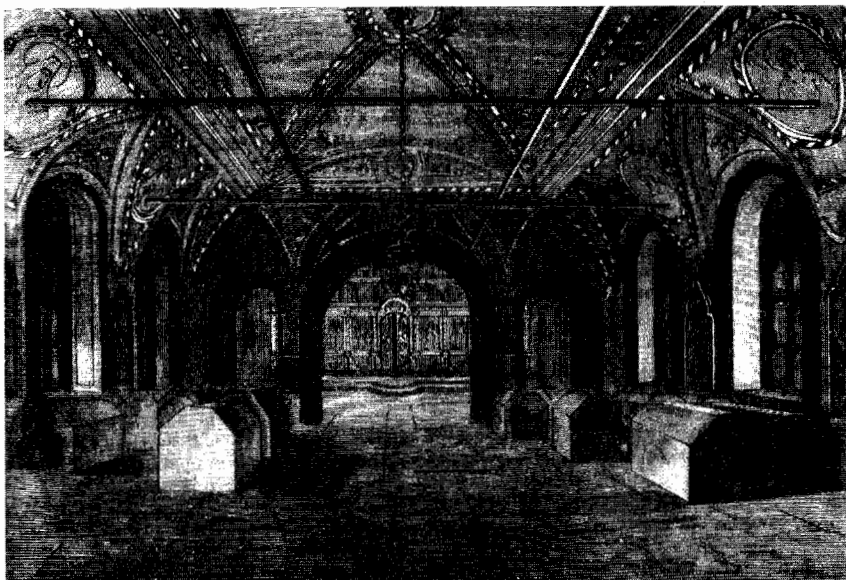


Рис. 1.19. Усыпальница Нарышкиных в Боголюбской церкви Высокопетровского монастыря

Крест, расположенной вблизи храма Грузинской Божьей Матери. Большие подвалы складского назначения были устроены в 1644 году при строительстве Гостиного двора. В дальнейшем, при многочисленных реконструкциях Старого Гостиного двора, их площадь постоянно увеличивалась. После ремонтно-восстановительных работ 1894 года под подвалами было устроено «помещение для котлов, электрическая станция и артезианский колодец для рядского водопровода. Для разгрузки привозимых товаров устроено особое приспособление: товар разгружается на разгрузочном дворе под Ветошным рядом, откуда он поступает на тележках, движущихся на железной цепи по рельсам, положенным по наклонным плоскостям»*.

С конца XVII в. в самом начале нечётной стороны Мясницкой улицы, на территории бывшего патриаршего подворья, нахо-

* По Москве. Прогулки по Москве и её художественным и просветительным учреждениям. Под ред. Н.А. Гейнике, Н.С. Елагина, Е.А. Ефимовой, И.И. Шитца. — М.: Издание М. и С. Сабашниковых, 1917.

дилась Тайная канцелярия (позднее, Тайная экспедиция), в подземных застенках и каменных мешках которой содержались заключённые (упразднена в конце XVIII в.). В книге «Москва и москвичи» В.А. Гиляровский описывает свое посещение остатков этой тюрьмы, обнаруженной при сносе дома: «Пролом сделали, и наткнулись мы на дубовую, железом кованную дверь. Насилу сломали, а за дверью — скелет человеческий... Обитая ржавым железом, почерневшая дубовая дверь, вся в плесени, с окошечком, а за ней низенький каменный мешок... при дальнейшем осмотре в стенах оказались ещё какие-то ниши, тоже, должно быть, каменные мешки...». Под соседним зданием «оказались глубокие подвалы со сводами и какими-то столбами, напоминавшие соседние тюрьмы «Тайного приказа», к которому, вероятно, принадлежали они. Теперь их засыпали, но до революции они были утилизированы торговцем Чичкиным для склада молочных продуктов»*.

Несколько подземных ходов проложены на территории Царицынского дворца. Под Большим и Малым дворцами имеются обширные подвалы, соединённые между собой подземным ходом шириной 4,6 м и высотой 3,1 м. На берегу Верхнего Царицынского пруда расположены три декоративных гота, также связанные между собой подземным ходом. Существуют также ходы, идущие непосредственно под прудом: ход, связывающий ротонду на берегу пруда с Островом Русалок, и ход, идущий от Фигурного моста к центральному острову Верхнего пруда (рис. 1.20)**.

Часть из ранее построенных подземных помещений была забыта и потеряна. Некоторые из них случайно обнаруживаются при проведении ремонтно-строительных и восстановительных работ. В качестве примера можно привести церковь Воскрешения Лазаря в подклете*** церкви Рождества Богородицы в Кремле. Церковь Воскрешения Лазаря была построена в 1393—94 годах. В ходе многочисленных перестроек, вероятно в конце XVII в., подклет церкви был заложен и забыт. Обнаружили его в

* Гиляровский В.А. Сочинения в 4-х тт. — М.: Правда, 1989.

** Сергеев И.Н. Царицыно. Страницы истории: Путеводитель. — М.: Издательство МГАП «Мир книги», 1993.

*** Подклетом в древнерусской архитектуре называлась цокольная часть здания.

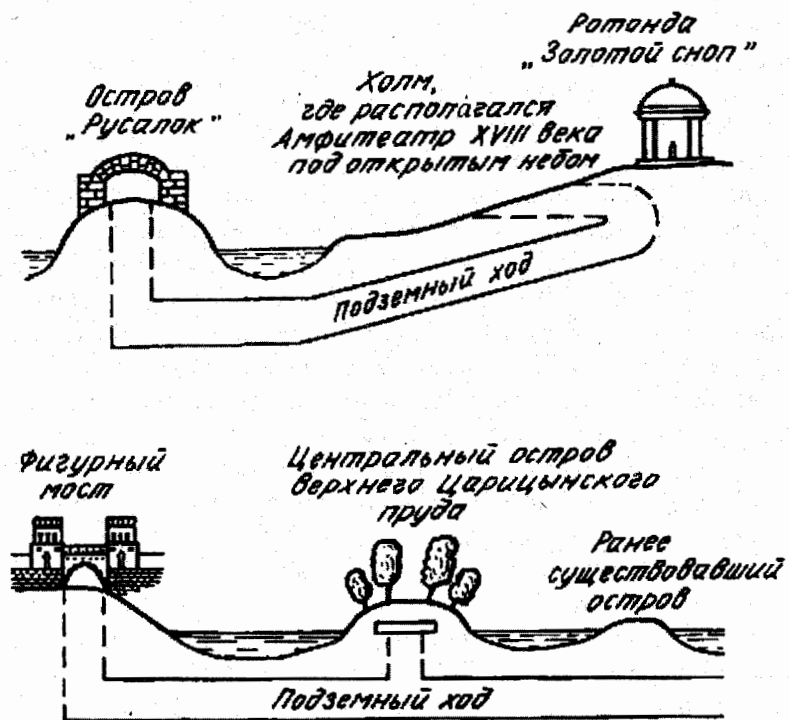


Рис. 1.20. Схемы подземных ходов под Верхним Царицынским прудом

середине девятнадцатого столетия, когда во время строительства Большого Кремлёвского Дворца при постройке лестницы понадобилось проломить одну из стен. «...Церковь эта — единственный уцелевший до наших времён памятник московского зодчества XIV в. — была не только упразднена, но и застроена со всех сторон каменными стенами наглухо до того, что все забыли о ней. Ничего не известно, почему и когда это случилось: летописи молчат о церкви в продолжение 200 лет. В 1842 году, при исправлении нижнего этажа терема, отвалена была одна стена, за которой, к удивлению, нашли древние мраморные своды, поддерживаемые двумя толстыми столпами, отделение алтаря с тремя узкими окнами в полукружии горнего места, с престолом и жертвенником, сделанным из тяжеловесного кирпича. По повелению Государя императора Николая Павловича храм был восстановлен в том

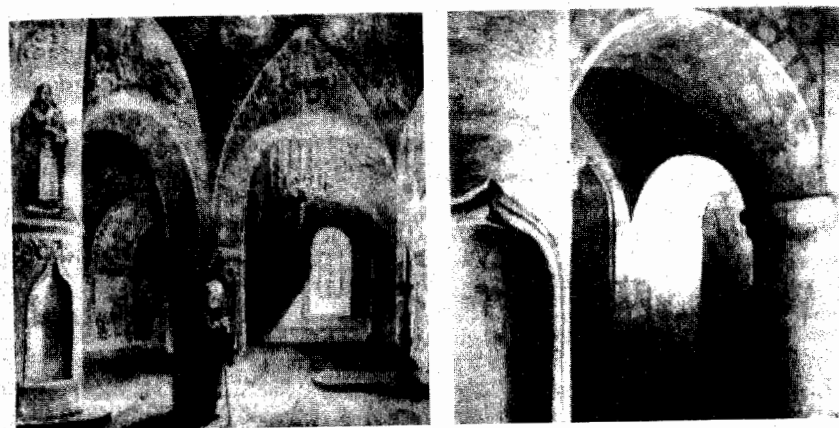


Рис. 1.21. Церковь Воскрешения Лазаря в Кремле после реконструкции в XIX в. (с гравюры XIX в.) и в 1973 году

самом виде, в каком он был сооружён за 450 лет»*. В настоящее время росписи храма не сохранились, доступа в него для посетителей нет (рис. 1.21).

Другой пример связан с Троицкой башней Кремля. В 1851 году после сильного ливня в проезде ворот башни образовался провал, в который ушла вода. Обследование, проведённое в 1895—1896 годах, обнаружило под проездом две двухъярусные палаты, нижние из которых представляли собой «каменные мешки» с узкими верхними отверстиями. От палат шёл подземный ход в расположенный поблизости Судебный Приказ. Считается, что обнаруженные палаты представляли собой тюрьму. В летописи упоминается, что 19 декабря 1543 года девятнадцатилетний Иван Грозный приказал схватить боярина Андрея Шуйского и передать его псарям, которые отволокли боярина «к тюрьмам» и убили напротив Ризположенских ворот**.

Приблизительно в 1900 году при ремонте одного из соборов Чудова монастыря в Кремле был обнаружен замурованный ранее нижний подвал, который, как предполагается, использовался в

* Кондратьев И.К. Московский Кремль, святыни и достопримечательности. — М.: 1910.

** Троицкие ворота за свою историю сменили несколько названий: Ризположенские, Знаменские и Куретные.

качестве темницы. «При открытии подвала в нём найдены железные вериги и несколько человеческих черепов и костей»*.

В 1985 году при копании траншеи на Ивановской площади Кремля строители случайно обнаружили уцелевший склеп вел. князя Сергея Александровича, находившийся в подклете Алексеевского собора Чудова монастыря. Были вскрыты две камеры, в одной из которых стоял гроб. По рассказам сотрудников музеев Кремля, в гробу находились облачённые в полуистлевший мундир останки тела, собранного из кусков после убийства. Часть находки, в основном серебро, было изъято в музей. Склеп закрыли и вновь засыпали землёй.

Таких примеров можно привести ещё множество и относятся они не только к территории Кремля.

Большие объёмы подземных работ выполнялись при строительстве инженерных сетей, в первую очередь систем водоснабжения.

Первый водопровод в Москве был сооружён в 1633 году на территории Кремля. В Водовзводной башне была установлена водоподъёмная машина, поднимавшая из колодца воду в свинцовый резервуар, расположенный на верху башни. Оттуда, по свинцовым трубам, вода поступала в водовзводную палатку, стоявшую около Верхнего Набережного сада, и распределялась через подземный трубопровод по всему Кремлю.

Инженерные сети и коллекторы в Москве стали прокладывать под землёй лишь в середине XIX в., начиная с заключения в трубу реки Неглинки и прокладки Мытищинского и Москворецкого водопроводов.

В Мытищах, в верховьях реки Яузы, были построены водо-сборные колодцы, из которых вода насосами подавалась на водоподъёмную станцию и затем перекачивалась в Алексеевский резервуар. Далее вода закачивалась в Крестовские водонапорные башни, откуда самотёком поступала в городскую водопроводную сеть. Мытищинский водопровод собирал грунтовые воды, прошедшие естественную очистку, с глубины 15 саженей**, поэтому искусственная очистка воды здесь не применялась.

Москворецкий водопровод, открытый в 1903 году, забирал воду из Москвы-реки в районе деревни Рублёво, где вода счита-

* Кондратьев И.К. Московский Кремль, святыни и достопримечательности. — М.: 1910.

** 1 сажень = 3 аршина = 2,1 м.

лась ещё не загрязнённой городскими бытовыми и промышленными стоками. Несмотря на это, вода проходила искусственную очистку на фильтрационной станции: первоначально вода закачивалась в отстойники, затем, по истечении 10 часов, сливалась на предварительные фильтры, где очищалась от взвесей, далее пропусклась через обеззараживающие «английские фильтры». После очистки вода насосами подавалась в распределительные резервуары на Воробьёвых горах, откуда уже самотёком поступала в распределительную сеть городского водопровода.

Работы по помещению реки Неглинной в закрытую трубу были начаты в конце XVIII в. Река начиналась за Камер-Коллежским валом, недалеко от Бутырской заставы, и имела на протяжении своего течения до Самотеки несколько прудов. Первоначально, в 1820 году, был закрыт участок реки от Самотеки (ныне — Трубная площадь) до впадения в Москву-реку. Земля на засыпку трубы была взята из земляных укреплений Кремлёвской стены. В 1878 тоннель был очищен и реконструирован. Перед началом работ был проведён ряд осмотров специально созданными для этой цели комиссиями. Их отчёты были опубликованы В.А. Гиляровским в репортаже «Подземные работы в Москве». Вот как им описывается состояние сооружения перед реконструкцией: «Свод трубы довольно хорошо сохранился, но местами в нём имеются продольные трещины, особенно большие под Театральным проездом и близ сандуновского фонтана, на протяжении 60 сажен. Местами же свод осел и сузил канал. Канал суживается также сетью газовых и водопроводных труб, пересекающих его. Канал имеет на своём протяжении извилины и крутые повороты, особенно частые на пути от Малого театра до театрального бассейна... Стены канала имеют толщину 4 кирпича, а свод — 2 кирпича. Пол состоит из двойного ряда досок, настланных вдоль канала. Стены канала лежат своим основанием на трёх рядах свай, а пол укреплен на поперечных брёвнах, врезанных концом в эти сваи. Пол местами сгнил; доски его отрываются течением и загромождают канал. Высота канала ... не одинакова. Местами человек высокого роста мог идти свободно по дну канала, местами же, благодаря заносам, почти невозможно было проползти лёжа*». Реконструкция проводилась под руководст-

* Гиляровский В.А. Сочинения в 4-х тт. — М.: Правда, 1989.

вом инженера Н.М. Левачёва. Весь тоннель был разделён на три участка, на каждом из которых свод и мостовая были раскрыты в 12 местах. Над каждым разобранным местом, для удобства производства работ и обеспечения безопасности дорожного движения, был выстроен специальный барак. Вода из тоннеля, с помощью установленных в бараках насосов, была отведена в деревянные, обшитые железом, лотки, подвешенные на высоте $1\frac{1}{2}$ аршина над дном канала. При реконструкции канал был расчищен, дно углублено и выполнено в виде обратного свода, стены оштукатурены. Для создания обратного свода в лотке тоннеля использовался тёсанный камень, доставляемый для этой цели из Тарусы.

Около 1910 года в трубу было заключено верхнее течение р. Неглинки и её притоки. Перед революцией 1917-го года были помещены в закрытые каналы реки Чечора, Пресня, Напрудная, Сара и некоторые другие мелкие водотоки, построена «обширная сеть водотоков для дождевых и грунтовых вод»*.

Говоря об истории подземного строительства в Москве, нельзя обойти стороной ещё одну важную страницу. Это строительство метрополитена.

Первый проект московского метрополитена был разработан в 1901 году. Он предусматривал сооружение круговой эстакады по Камер-Коллежскому валу с двумя диаметрами: первый — от Преображенской заставы до Новодевичьего монастыря, второй — от Серпуховской заставы до Петровского Парка.

Следующий проект был разработан в 1902 году инженерами П.И. Балинским и Е.К. Кнорре и художником Н.Н. Каразиным. Они предложили строительство смешанных линий — наземных и подземных. Проект состоял из двух частей:

1. сооружение электрической железной дороги внеуличного типа (метрополитена);
2. расширение сети конно-железнодорожных линий и переоборудование их под электрическую тягу (трамвай).

Авторами плана предлагалось провести диаметральною линию от строившейся в тот период окружной железной дороги в районе

* По Москве. Прогулки по Москве и её художественным и просветительным учреждениям. Под ред. Н.А. Гейнике, Н.С. Елагина, Е.А. Ефимовой, И.И. Шитца. — М.: Издание М. и С. Сабашниковых, 1917.



Рис. 1.22. Первый проект московского метрополитена. Вид на Кремль с проходящей вблизи линией метро

Петровско-Разумовского через центр города к Красной площади и Храму Василия Блаженного (рис. 1.22). Около Храма планировалось строительство Центрального вокзала. Далее линия должна была идти по эстакадам через Москву-реку, Большую Ордынку и Серпуховскую заставу до пересечения с окружной железной дорогой вблизи Павелецкого вокзала. Затем должна была быть построена кольцевая линия по Садовому кольцу и Замоскворечью и радиальная — от Черкизова, по Яузе до центра города. Общая проектируемая протяжённость пути составляла 54 км.

Проект был вынесен на обсуждение Московской Городской думы 18 сентября 1902 года и в декабре 1902 года отклонён. Главными оппонентами строительства стали: московское археологическое общество, объединявшее виднейших историков России, московское духовенство и пайщики трамвайной компании.

К вопросу строительства метрополитена Городская дума вернулась в 1911 году. Рассматривалось предложение о строительстве трамвайного тоннеля под Лубянским проездом, Ильинкой и Красной площадью. Впоследствии этот тоннель должен был стать частью сети будущего метрополитена, включавшей в себя строительство трёх подземных линий:

- I — от Смоленского рынка до Каланчёвской площади;
- II — между Тверской и Покровской (Абельмановской) заставами;

III — между Виндавским (Рижским) вокзалом и Серпуховской площадью.

Эти линии должны были соединяться с существующими железнодорожными линиями.

В 1912 году инженером Е.К. Кнорре был выдвинут проект двух очередей: первая — радиальная, от центра до соединительной ветви между Октябрьской и Курской железными дорогами; вторая — кольцевая, по Садовому кольцу.

Реализации проектов помешала Первая мировая война.

В 1922 году проблема строительства московского метрополитена была затронута архитекторами А.В. Щусевым и И.В. Жолтовским при составлении плана «Новой Москвы».

В 1923 году при Управлении московских городских железных дорог было учреждено бюро по проектированию метрополитена.

В мае 1924 года Московское коммунальное хозяйство провело первое разведочное бурение по предполагаемой трассе метро — от Каланчёвской площади до площади Свердлова.

В 1925 году был разработан проект радиальной линии, соединявшей центр города с Каланчёвской площадью. Его реализация была поручена Управлению московских городских железных дорог. Эту работу возглавили инженеры К.С. Мышенков и С.Н. Розанов (рис. 1.23).

В конце 1931 года было организовано архитектурное бюро технического отдела Метростроя. В первый его состав вошли архитекторы: Н. Андриканис, С. Сенкевич, И. Таранов, Л. Шагури-



Рис. 1.23. Проект МГЖД одной из станций метрополитена

на, Л. Шухарева. Возглавлял бюро С. Кравец. В 1933 году бюро было преобразовано в самостоятельную организацию — центральную проектную контору Метропроект, а позднее, в 1951 году, Метропроект был реорганизован в проектно-изыскательский институт Метрогипротранс.

Проходка опытного участка на Русаковской улице (рис. 1.24) началась в 1931 году по чертежам Технического отдела Управления Метростроя, разработанным под руководством проф. В.Л. Николаи — одного из руководителей строительства Малого кольца Московской железной дороги. Одна из наиболее острых проблем, стоявших перед проектировщиками, заключалась в выборе между станциями с островными и боковыми платформами. Островные платформы, вызывающие необходимость более тщательного архитектурного оформления, более удобны для сообщения с поверхностью и предоставляют пассажирам ряд дополнительных удобств, особенно на пересадочных станциях. Этот вид платформ был распространён, преимущественно, в Лондоне и Берли-



Рис. 1.24. Шахта № 17 кировского радиуса в период строительства. 1932 год

не. Станции с боковыми платформами, характерные для парижского метрополитена, более дешёвы, имеют более простую конструкцию и менее сложны в производстве работ. Для каждой станции, включая трассу и продольный профиль подъездных тоннелей, разрабатывались два параллельных проекта. Для станций глубокого заложения первоначально рассматривался вариант двухсводчатой станции с платформой, разделённой промежуточной стенкой. Другой вариант — трёхсводчатая станция с двумя раздвинутыми тоннелями, в которых располагаются боковые платформы. Выбор окончательного варианта типа станций зависел ещё и от решения проблемы подъёма пассажиров на поверхность. Первоначально для этой цели предполагалось использовать лифты. Однако позже было принято решение об использовании эскалаторов. Это привело к изменению проекта станций и окончательному выбору трёхсводчатого варианта.

Технический проект первоочередных линий был представлен в Московский комитет партии и Президиум Моссовета 13 августа 1933 года. Окончательное утверждение проекта произошло в конце 1933 года.

В начале марта 1934 года был объявлен конкурс на архитектурное оформление метрополитена, в котором приняли участие практически все проектные мастерские Москвы. Выставка проектов подземных залов, входов и вестибюлей станций метрополитена проходила с 30 марта по 9 апреля 1934 года в Белом зале Моссовета. По результатам конкурса были приняты к строительству проекты станций «Красные ворота», «Кировская», «Охотный ряд» и «Сокольники».

Значительное внимание уделялось станции «Дворец Советов» (в настоящее время «Кропоткинская») (рис. 1.25). Предполагалось, что эта станция будет соединена с вестибюлем Дворца Советов и станет своеобразным вступлением к образу будущего сооружения*. К началу строительства станции (май 1934 года)

* Проект Дворца Советов архитекторов Б. Иофана, В. Шуко и В. Гельфрейха был принят к строительству в феврале 1934 года. Высота этого монументального сооружения должна была составлять 416 метров, из них последние 100 м — статуя В.И. Ленина. Дворец построен не был. На его месте долгое время находился бассейн «Москва». Сейчас — Храм Христа Спасителя.

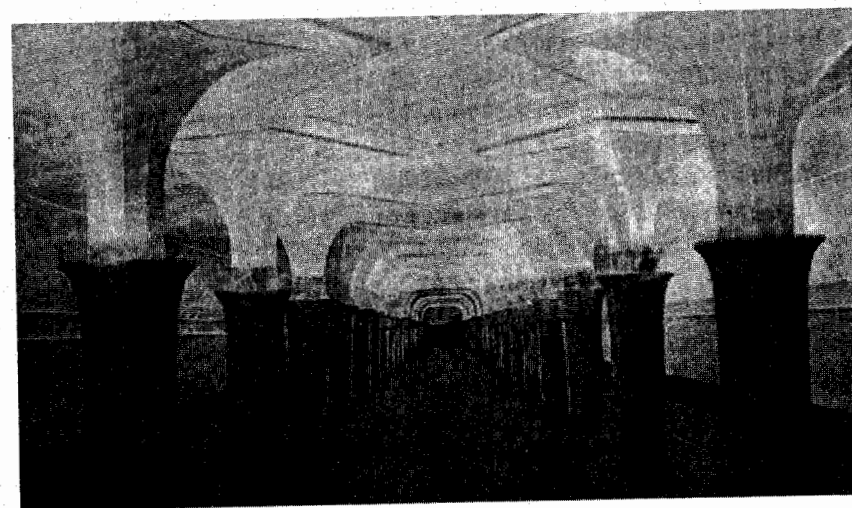
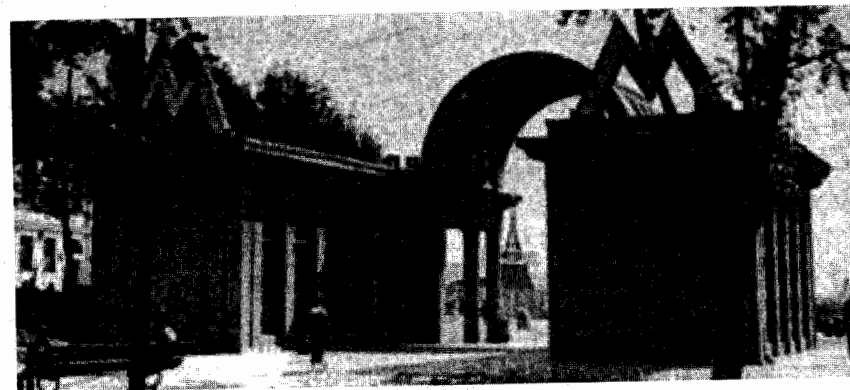


Рис. 1.25. Наземный вестибюль станции «Дворец Советов» (вдали виден копер над шахтой первой очереди метро) и внутреннее оформление зала

расположение комплекса «Дворца Советов» ещё не было уточнено. В связи с этим было принято решение: «Расположение подземного зала не должно выходить за пределы городской застройки внутреннего проезда Гоголевского бульвара. Строительство должно вестись открытым способом*». При создании проекта станции архитекторам А.Н. Душкину и Я.Г. Лихтенбергу «приш-

* Лихтенберг Я.Г. От эскизов к проекту // Метрострой. — 1975. — № 3—4.

лось обратиться к анналам египетской подземной архитектуры. Верх колонн, освещённый масляными площадками в подземных лабиринтах пирамид, взят за основу конструктивного решения»^{*}.

Первая очередь московского метро была пройдена в рекордно короткие сроки: если к январю 1934 года было выполнено только около 6% всех работ, то к январю 1935 года план строительства был завершён полностью. В зависимости от метода строительства, тоннели подразделялись на два основных типа: при открытом способе работ сооружался двухпутный тоннель прямоугольного сечения (в настоящее время он хорошо виден на подъезде к станции «Комсомольская»), при закрытом способе — два параллельных однопутных тоннеля круглого сечения. Открытые работы велись двумя способами: на участках Сокольники и Остоженка — «берлинским» способом (он же «способ Сименса» или «ограждение Метростроя»), на Арбате — траншейным методом. На практике траншейный метод оказался более экономичным: на крепление котлована потребовалось меньшее количество крепёжного материала (досок и металлических крепей); значительно раньше восстанавливалась поверхность. На участках Сокольники и Остоженка работы проводились с предварительным водопонижением. На некоторых участках были встречены плывуны. Для борьбы с ними использовались замораживание грунтов и проходка под сжатым воздухом.

Первый поезд, состоящий из двух вагонов — моторного и прицепного, — вышел на линию 15 октября 1934 года, а 6 февраля 1935 года делегаты VII Съезда советов стали первыми пассажирами пробных рейсов.

Открытие первой очереди Московского метрополитена состоялось 15 мая 1935 года на участках от станции «Сокольники» до станции «Парк культуры» (позже «Парк культуры имени Горького», сейчас вновь «Парк культуры») с ответвлением от станции «Охотный ряд» (станция претерпела несколько переименований: «Охотный ряд», затем «Имени Л.М. Кагановича», «Проспект Маркса», ныне «Охотный ряд») до станции «Смоленская» общей протяженностью 11,6 км (рис. 1.26). «Широкие платформы и высота станций московского метро, давая практи-

ческие преимущества для движения пассажиров, обеспечивая хорошую вентиляцию и общие санитарные условия, в то же время предоставили большую свободу для архитектурного оформления подземных вокзалов. Московские архитекторы широко использовали эту возможность. На станциях московского метрополитена мрамор стен и кессонные потолки изящно сочетаются с другими материалами и частями сооружений»^{*}.

В сентябре 1935 года был утверждён проект второй очереди, включавший в себя продление Арбатско — Покровского диаметра до Киевского и Курского вокзалов и сооружение Горьковского радиуса от центра до района Сокол.

Участок от станции «Смоленская» до станции «Киевская» с метромостом через Москву-реку протяженностью 1,3 км был введен в действие в 1937 году; в 1938 году — участок от станции «Коминтерн» (с 1946 года по 1990 год — «Калининская», а затем — «Александровский сад») до станции «Курская» длиной 2,3 км и участок новой линии от станции «Площадь Свердлова» до станции «Сокол» протяженностью 8,5 км. После этого участок мелкого заложения «Коминтерн» — «Киевская» был выделен в отдельную линию.

Утром 15 октября 1941 года, в связи с угрозой захвата столицы немецкими войсками, был отдан приказ о демонтаже оборудования, минировании и уничтожении метрополитена. Однако к вечеру приказ был отменён и в 18⁴⁵ на участке от «Сокольников» до «Парка Культуры» движение было восстановлено. Как только Москве перестала угрожать опасность захвата, в метрополитене были продолжены строительные работы. 1 января 1943 года был пущен в строй участок от «Площади Свердлова» («Театральная») до «Завода имени Сталина» («Автозаводская») протяженностью 6,2 км с двумя станциями: «Павелецкая» и «Новокузнецкая»; 18 января 1944 — участок от «Курской» до «Измайловской» (ныне «Измайловский парк») длиной 7,1 км с тремя станциями: «Бауманская», «Электrozаводская», «Сталинская» («Семеновская»). Во время одного из воздушных налётов авиабомбой было разрушено перекрытие перегонного тоннеля мелкого зало-

^{*} *Морган Д.* Московский метрополитен — лучший в мире. — М.: Московский рабочий, 1935.

^{*} *Душкин А.Н.* Моё архитектурно кредо // Метрострой. — 1973. — № 5.

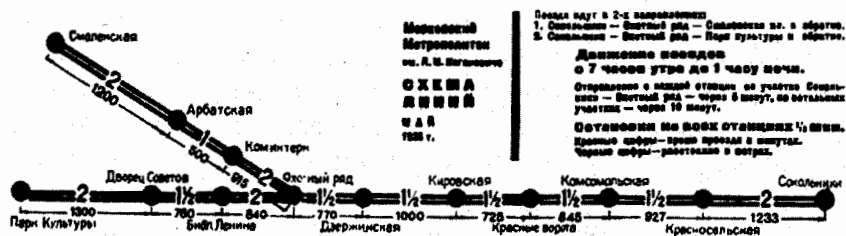


Рис. 1.26. Схема линий московского метрополитена 1935 года

жения между «Смоленской» и «Арбатской», что послужило одной из причин строительства в 50-х годах параллельного участка глубокого заложения Арбатско — Покровской линии.

По мнению архитектора Ю.А. Ревковского: «Именно архитектура станций первых очередей строительства Московского метро даёт непревзойденное разнообразие творческих приёмов объёмно-пространственных, композиционных и цветовых решений, объединённых органическим единством и обеспечивающих ансамблевое восприятие всей анфилады подземных пространств»*.

К настоящему времени в Московском метрополитене построены 11 линий.

1 — *Сокольническая* (дважды переименовывалась: «Сокольники» — «Спортивная» и Кировско — Фрунзенская) — первая линия московского метрополитена. Длина линии 26,4 км. На линии расположены 19 станций (18 действующих, «Ленинские горы» закрыта на реконструкцию). Движение на отдельных участках было открыто в период с 1935 по 1990 годы.

Во время Второй мировой войны на станции «Кировская» («Чистые пруды») находились отделы Генерального Штаба и ПВО. Перрон был отгорожен от путей фанерной стеной. Поезда на станции не останавливались.

На Сокольнической линии находится одна из наиболее уникальных станций московского метрополитена, возможно, единственная в мире — станция «Ленинские горы». Станция длиной 270 м (посадочный зал вместе с проходными коридорами) располагается над водой в нижнем ярусе Лужнецкого метромоста с

* Ревковский Ю.А. Выдержали проверку временем//Метрострой. — 1975. — № 3—4.

выходами на обоих берегах Москвы-реки. В 1984 году метромост был закрыт на реконструкцию.

2 — *Замоскворецкая* («Сокол» — «Автозаводская», Горьковско — Замоскворецкая) линия. Длина линии 40,3 км. На линии расположены 20 станций. Движение на различных участках было открыто с 1938 по 1985 годы.

Станция «Горьковская» («Тверская») сооружена в 1979 году на действующем участке между «Площадью Свердлова» и «Маяковской» без прекращения движения поездов и строительства обходных тоннелей. Это было достигнуто за счёт того, что станция была в проекте второй очереди и для неё было оставлено увеличенное расстояние между тоннелями.

Вскоре после открытия участка «Каширская» — «Орехово», из-за нарушения гидроизоляции, тоннель на участке «Ленино» («Царицыно») — «Орехово» был затоплен водами Царицынских прудов. Восстановительные работы продолжались несколько месяцев.

3 — *Арбатско — Покровская* (Киевско — Первомайская) линия. Протяжённость линии 18,7 км, на линии имеются 12 станций. Движение на участках было открыто в период с 1938 по 1963 годы.

В начале 50-х годов началось строительство линии глубокого заложения от «Киевской» в направлении Кунцево. Планировалась постройка пяти станций. Однако, после смерти И.В. Сталина, строительство было прекращено и радиус был построен по поверхности. В настоящее время он является наземной частью Филёвской линии. Возможно, построенные тоннели будут использованы на строящемся в настоящее время перегоне «Киевская» — «Парк Победы».

Станция «Измайловская» (первоначальное название «Стадион Народов», с 1963 года — «Измайловский парк») была открыта 18 января 1944 года. Первоначально станция проектировалась как часть грандиозного спортивного комплекса (по различным источникам: «Стадион имени Сталина», «Стадион Народов», «Стадион СССР», «Центральный Стадион») (рис. 1.27). На станции планировалось устройство двух выходов (ныне один), с каждой платформы должно было идти по три эскалатора в каждую сторону (всего 12). Реализации планов помешало начало Второй мировой войны. Оформление станции было изменено по сравне-

нию с первоначальным вариантом и посвящено партизанскому движению. На станции имеются три подъездных пути: боковые используются для движения поездов, а на средний прибывает поезд, следующий в депо (рис. 1.28). Первоначально средний путь предназначался для прибытия правительственных поездов во время торжественных мероприятий.

До 1961 года движение поездов на этой линии осуществлялось до станции «Первомайская», расположенной в здании депо «Измайлово» (рис. 1.29). После продления радиуса станция в здании депо была закрыта и название передано нынешней «Первомайской».

4 — *Филёвская* линия. Длина линии 16 км. На линии располагаются 13 станций. Движение на различных участках линии было открыто с 1935 по 1992 годы.

После открытия в 1938 году участка глубокого заложения «Площадь Революции»—«Курская» Замоскворецкой линии, участок мелкого заложения «Коминтерн»—«Киевская» был включён в Арбатско—Покровскую линию. Для этого были построены тоннели от «Площади Революции» до «Коминтерна». В 1953 году был пущен участок глубокого заложения «Площадь Революции»—«Киевская» и закрыт параллельный ему участок «Калининская»—«Киевская». На некоторых станциях и в тоннелях были устроены склады, другие станции использовались как выставочные залы. В 1958 году, после принятия решения о продлении линии в западном направлении, движение на участке «Калининская»—«Киевская» было открыто вновь в рамках отдельно организованной Филёвской линии.

Станция «Смоленская» первоначально имела два выхода на поверхность (рис. 1.30). Позднее, при расширении Садового кольца, второй выход был закрыт.

5 — *Кольцевая* линия длиной 19,4 км с 12 станциями была пущена в эксплуатацию с 1950 по 1954 годы (рис. 1.31).

6 — *Калужско—Рижская* («Ботанический сад»—«ВСХВ») линия. Длина 39,5 км, на линии 24 станции. Различные участки линии были запущены в эксплуатацию с 1958 по 1990 годы.

С 1964 по 1974 годы конечная станция находилась в здании Калужского метродепо, современная станция «Калужская» была открыта в 1974 году.

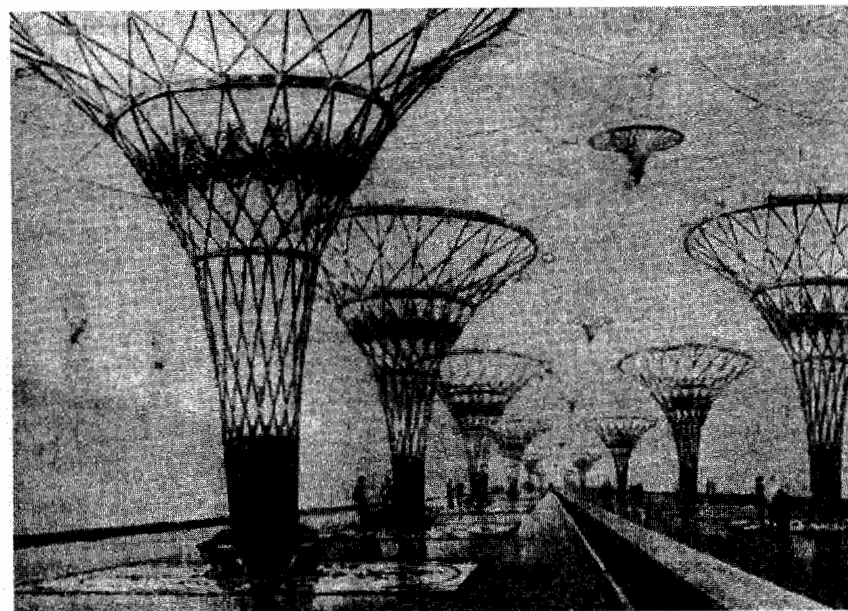


Рис. 1.27 (вверху). Проекты архитектурного оформления станции «Стадион Народов» третьей очереди метро. Конец 1930-х годов

На станции «Ленинский проспект» был запроектирован и построен неиспользуемый в настоящее время выход в центре зала. Выход предназначался для пересадки на проектировавшуюся станцию на Московской окружной железной дороге, где планировалась организация пассажирского движения.

7 — *Таганско—Краснопресненская* (Ждановско—Краснопресненская) линия длиной 36 км с 19 станциями. Движение поездов на линии открылось в период с 1966 по 1975 годы.

Наибольшую трудность вызвало строительство «Баррикадной», расположенной под прудом Московского зоопарка. Для предотвращения возможных протечек архитектором А.Ф. Стрелковым было предложено использовать массивные шестиметровые пилоны.

При проектировании линии предполагалось ответвление от «Полежаевской» в сторону Серебряного бора, которое не было реализовано. Для обслуживания этой ветки на «Полежаевской» был запроектирован и построен третий путь. В настоящее время



Рис. 1.28. Вид станции «Измайловская» в 1953 году. Круглый светильник с ободком до настоящего времени не сохранился



Рис. 1.29. Станция «Первомайская» в здании депо «Измайлово»

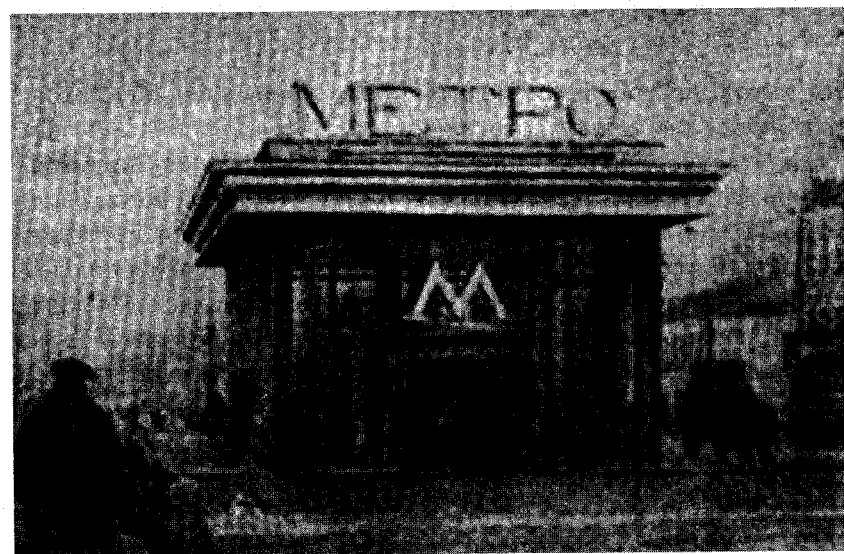


Рис. 1.30. Наземный вестибюль станции «Смоленская», 1935 год



Рис. 1.31. Строительство «Большого кольца» (Кольцевой линии). Электровозная откатка породы

этот путь и построенный участок проектировавшейся ветки используются для ночного отстоя поездов.

На участке между станциями «Щукинская» и «Тушинская» располагается неиспользуемая станция «Волоколамская». Её видно из окон вагонов проходящих поездов. Станция, построенная закрытым способом при проходке линии, находится под лётным полем Тушинского аэродрома и предназначалась для жителей микрорайона, строительство которого планировалось на месте аэродрома. Станция не имеет выходов на поверхность и наружной отделки.

8 — *Калинская* линия. Длина линии 13,1 км. На линии расположены 7 станций. Движение на участках линии открыто в 1979 и 1986 годах.

9 — *Серпуховско—Тимирязевская* линия протяжённостью 37 км с 22 станциями. Строительство отдельных участков этой линии продолжается и в настоящее время

В сложных инженерно-геологических условиях сооружалась «Боровицкая». Задачу усложняло существование функционирующего узла с двумя ранее построенными станциями.

10 — *Люблинская* линия. Длина 19,3 км, на линии 10 станций. Движение на первом участке линии открылось в 1995 году, к настоящему времени на линии продолжаются строительные работы. По первоначальному проекту часть линии должна была проходить вдоль Люблинской улицы, станция «Люблино» должна была находиться вблизи одноименной железнодорожной платформы. Однако позднее трасса была изменена, станция «Люблино» передвинута и построена дополнительная станция «Волжская».

11 — *Каховская* линия. Протяжённость линии 4 км, на линии имеются 3 станции. Первоначально эта линия являлась участком Замоскворецкой линии и была выделена в самостоятельную в 1995 году. В отличие от всех остальных линий Московского метрополитена, здесь курсируют поезда, состоящие из шести вагонов.

Сейчас в Московском метро более 160 станций.

Приведённые краткие и чрезвычайно отрывочные сведения о подземной Москве, тем не менее, позволяют получить общее представление о масштабности и уникальности подземного пространства города*.

* В данном обзоре не рассматриваются подземные сооружения специального назначения, возведённые в Москве начиная с 20-х—30-х годов XX-го столетия.

2. ОБЪЁМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1. Классификации подземных сооружений

Подземными обыкновенно называют такие сооружения, главные части которых, по эксплуатационным соображениям, расположены под землёй.

По своему назначению подземные сооружения подразделяют на:

транспортные (пешеходные, автотранспортные и железнодорожные тоннели, метрополитены, автостоянки и т.д.);

промышленные (корпуса первичного дробления руды, скиповые ямы доменных цехов, подземные части бункерных эстакад, установок грануляции шлаков, непрерывной разливки стали и проч.);

энергетические (подземные комплексы ГЭС, ГАЭС и АЭС, шинные и кабельные тоннели и шахты, энергетические водоводы, низовые бассейны ГАЭС и проч.);

хранилища (нефти, газа, вредных и радиоактивных отходов, холодильники);

общественные (предприятия коммунально-бытового обслуживания, торговли и общественного питания, складские, спортивные и зрелищные сооружения и т.д.);

инженерные (тоннели и коллекторы тепло-, газо-, электросетей и водопровода, бензопроводы между автозаправочными станциями, очистные, перекачные и водозаборные сооружения и т.д.);

специального и научного назначения (ускорители заряженных частиц, тоннели для аэродинамических испытаний, подземные заводы, оборонные объекты, сооружения гражданской обороны и проч.).

Классификация подземных сооружений **по типам и функциональным признакам**, составленная В.М. Мостковым, приводится в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Классификация подземных сооружений по назначению [Мостков, 1998]

Тип	Наименование	Назначение
Тоннель	Железнодорожный	Пропуск железнодорожного транспорта
	Перегонный метрополитена	Проезд составов между станциями
	Станционный метрополитена	Проезд и остановка составов в пределах станции
	Эскалаторный метрополитена	Размещение эскалаторов
	Автомобильный магистральный	Пропуск автомобильного транспорта по трассе магистрали
	Автомобильный городской	Обеспечение транспортных развязок
	Пешеходный	Пропуск пешеходов
	Судовой	Пропуск судов
	Подводный	Пропуск транспорта под водотоком
	Гидротехнический	Передача больших объемов воды на значительные расстояния
	Подводящий гидротехнический (деривационный)	Подвод воды от водохранилища к ГЭС
	Отводящий гидротехнический	Отвод воды от агрегатов ГЭС и ГАЭС
	Турбинный водовод	Подвод воды к турбинам ГЭС
	Водосбросный	Пропуск строительных и эксплуатационных расходов гидроузла
	Цементационный (штольня)	Производство цементационных работ
	Дренажный	Сбор и отвод грунтовых вод
	Селевой	Пропуск и отвод селевого потока
	Грузовой	Подача оборудования в производственные помещения

См. продолжение

Продолжение табл. 2.1

Тип	Наименование	Назначение
Тоннель	Шинный, кабельный	Передача энергии от генераторов к трансформаторам
	Подходной	Открытие строительных забоев
	Разведочный	Инженерные изыскания по трассе подземного сооружения
	Сервисный	Обслуживание основных сооружений
	Коллекторный канализационный	Отвод канализационных вод
	Коллекторный инженерный	Прокладка инженерных сетей и коммуникаций различного назначения
Шахта	Научный	Размещение различных научно-исследовательских объектов (ускорители заряженных частиц и проч.)
	Строительная	Выдача разработанной породы из основного сооружения
	Вентиляционная	Подача воздуха в основные сооружения
	Лифтовая	Спуск и подъём людей
	Грузовая	Спуск и подъём материалов и оборудования
	Кабельная	Спуск, подъём и прокладка кабелей различного назначения
	Напорного трубопровода	Подача воды к гидроагрегатам ГЭС
	Уравнительного резервуара	Восприятие гидравлического удара
	Затворная	Управление затворами ГЭС и ГАЭС
	Трубопроводов	Прокладка трубопроводов
Камера	Хранилище, склад	Устройство складов, хранилищ различного назначения
	Дренажная	Сбор и отвод дренажных вод
	Машинного зала электростанции	Размещение энергогенерирующего оборудования
	Трансформаторная	Размещение трансформаторов
	Насосной станции	Размещение насосов
	Очистой станции	Очистка сточных вод

См. продолжение

Продолжение табл. 2.1

Тип	Наименование	Назначение
Камера	Затворов	Размещение затворов
	Грабельного зала	Сортировка отходов в насосной станции
	Транспортная	Разворот автомашин
	Съездов	Пересечение железнодорожных путей
	Станции метрополитена	Проезд и остановка составов в пределах станции, посадка — высадка пассажиров
	Пересадочной станции	Пересадка пассажиров с одной линии (с одного вида транспорта) на другую (другой)
	Водоотлива	Размещение насосов и зумпфов водоотлива
	Электродепо электропоездов	Отстой, обслуживание и ремонт
	Спортивного и зрелищного сооружения	Размещение стадионов, бассейнов, кинотеатров и проч.
	Хранилища, склада	Устройство складов, хранилищ различного назначения
Сооружения котлового типа	Резервуара	Ёмкость для воды, воздуха
	Аккумулирующая	Аккумуляция различных видов энергии
	Специального назначения	Размещение объектов гражданской обороны, оборонных объектов, различных баз
	Предприятия культурно-бытового назначения	Торговые центры, предприятия общественного питания, магазины, выставки и проч.
	Гараж	Длительное хранение автотранспорта
	Автостоянка	Краткосрочное хранение автотранспорта
	Многофункциональный комплекс	Комплексное размещение сооружений различного назначения
	Пешеходный зал	Разделение пассажиропотоков, размещение предприятий общественного обслуживания

Все перечисленные сооружения могут иметь как узкоспециализированное, так и комплексное назначение и располагаться под землёй полностью или частично (рис. 2.1). Например, подземными могут быть отдельные помещения наземных сооружений: аэропортов, вокзалов, гаражей, торговых центров, высотных жилых и административных зданий. Кроме назначения и функциональных признаков, подземные сооружения различаются по форме и размерам поперечного сечения, планировочной схеме, месту расположения в городе, глубине заложения, методу строительства, «экологичности», конструктивным особенностям и видам примененных материалов, условиям проветривания и освещения и т.п.

В соответствии с **планировочной схемой** различают протяжённые подземные сооружения — *тоннели* — горизонтальные или наклонные подземные выработки, длина которых во много раз превышает размеры поперечного сечения, и подземные сооружения ограниченной длины — *камеры* — горные выработки, имеющие большие размеры во всех трёх направлениях. Вертикальные горные выработки называют *стволами* или *шахтами*. *Штольня* — это горизонтальная или слабонаклонная горная выработка, предназначенная для обслуживания подземных работ (вывоз грунта, разведка горных пород, вентиляция, водоотлив и др.).

Форма поперечного сечения тоннеля зависит от инженерно-геологических условий района строительства и способа ведения работ по его проходке. Существуют следующие **формы поперечного сечения тоннелей** (рис. 2.2):

1. **прямоугольная** — для коллекторов и тоннелей мелкого заложения;

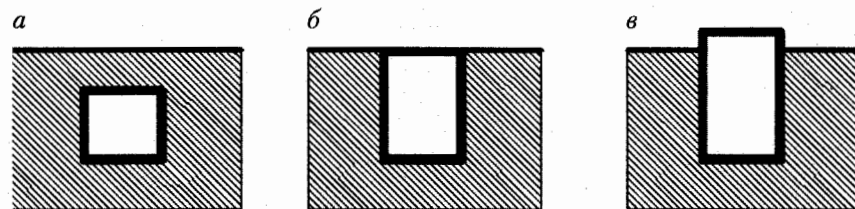


Рис. 2.1. Подземное (а), заглублённое (б), частично заглублённое (в) сооружения

2. **круговая** — для тоннелей, сооружаемых механизированным способом и в сложных инженерно-геологических условиях;

3. **сводчатая**:

3.1. **корытообразная с пологим сводом** — для тоннелей в прочных скальных породах с незначительным горным давлением;

3.2. **корытообразная с полуциркульным сводом** — для тоннелей в скальных породах средней крепости при небольшом вертикальном и отсутствии бокового горного давления;

3.3. **коробовая с уширенным основанием, сводом малого радиуса и криволинейными стенками** — при большом вертикальном и небольшом боковом горном давлении;

3.4. **подковообразная** — в слабых породах при большом вертикальном и горизонтальном горном давлении и при давлении горных пород снизу.

В некоторых случаях, при наличии соответствующего технико-экономического обоснования, возможно изменение перечисленных форм поперечного сечения тоннелей. Формы поперечного сечения в и з, вследствие высокой стоимости и сложности проходческих работ применяются достаточно редко.

В крупных камерных выработках могут размещаться машинные залы подземных сооружений энергетики, станции метропо-

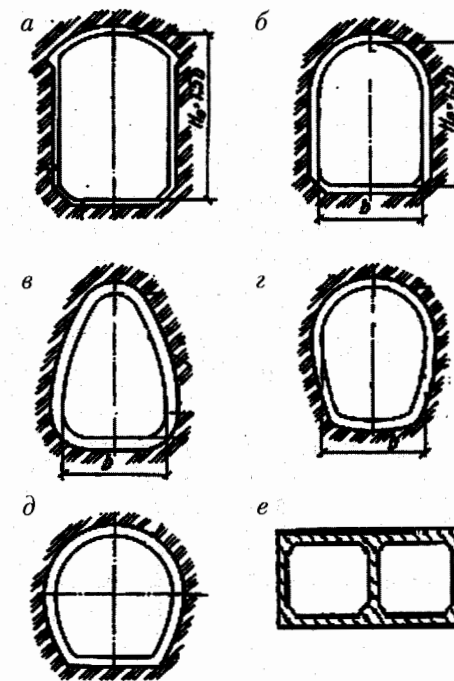


Рис. 2.2. Типовые формы поперечных сечений тоннелей:

а — корытообразное с пологим сводом; б — корытообразное с полуциркульным сводом; в — коробовое с уширенным основанием; г — подковообразное; д — круговое с уширенным основанием; е — прямоугольное

литена, различные хранилища, склады, ёмкости, спортивные сооружения, убежища, канализационные, насосные, очистные станции и другие объекты. Существуют следующие *формы поперечного сечения камерных выработок*:

— *корытообразная*: с вертикальными стенками и пологим сводом (рис. 2.3, а) используется в плотных и прочных скальных породах, не оказывающих горного давления; с вертикальными стенками и подъёмистым сводом (рис. 2.3, б) — в породах с небольшим горным давлением; с наклонными стенками и пологим или подъёмистым сводом (рис. 2.3, в) — в породах с небольшим горным давлением при несовпадении углов напластования;

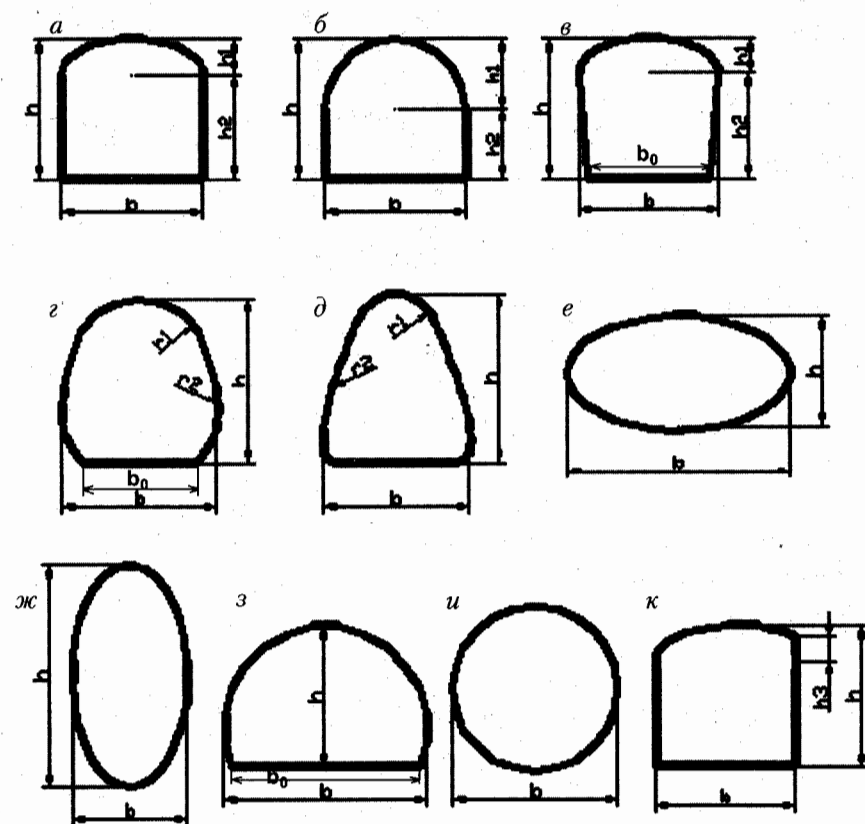


Рис. 2.3. Формы поперечного сечения камерных выработок

— *коробовая*: подковообразная (рис. 2.3, г), используемая в породах, оказывающих вертикальное и боковое горное давление, а также при большом давлении подземных вод; овоидальная (рис. 2.3, д) — если вертикальное горное давление значительно превышает боковое;

— *эллиптическая*: овальная с горизонтальной (рис. 2.3, е) и вертикальной (рис. 2.3, ж) большой осью — при неглубоком залегании выработки в породах, оказывающих большое горное давление;

— *полуциркулярная* (рис. 2.3, з) и *круглая* (рис. 2.3, и), используемые при большом горном и наружном гидростатическом давлении, а также при несимметричном давлении породы;

— *несимметричная* (рис. 2.3, к) — при одностороннем горном давлении, а также при необходимости размещения эксплуатационного оборудования.

Соотношения основных геометрических параметров для этих форм приводятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Соотношение геометрических параметров камерных выработок (к рис. 2.3)

Форма	$b_{\max}$, м	h/b	h_1/b	b_0/b	r_1/b	r_2/b
а	30 + 35	0,5 + 0,9	0,25	—	—	—
б	30 + 35	0,5 + 0,9	0,5	—	—	—
в	25	0,5 + 1,2	0,25	0,9	—	—
г	30 + 35	1,1	—	0,8	0,5	1,1
д	15	1,2	—	—	0,3	1,6
е	25	0,5	—	—	0,3	0,7
ж	20	1,4	—	—	0,5	0,9
з	30 + 35	0,6	0,5	0,9	—	—
и	20	1,0	—	—	—	—
к	25	0,5 + 1,6	$h_3/b = 0,2$	$b_1/b = 0,6$	—	—

В Скандинавских странах при проектировании подземных сооружений в прочных скальных грунтах предпочтение, в основном, отдаётся корытообразной форме поперечного сечения. Например, в Финляндии подземные сооружения, в основном, используются для размещения инженерных коммуникаций, складов, автостоянок и для нужд гражданской обороны. Около 20 %

сооружений общественного назначения в Хельсинки располагаются под землёй. Наиболее часто встречающиеся формы поперечного сечения изображены на *рис. 2.4*.

По расположению городские подземные сооружения могут быть как под застроенной, так и под незастроенной территориями (*рис. 2.5*). Подземные объекты, расположенные под застроенной территорией, могут быть:

- *изолированными* от зданий и сооружений;
- *встроенными* — подземные сооружения, совмещённые с подвальными этажами здания;
- *пристроенными* — подземные сооружения, расположенные рядом со зданиями и присоединённые к ним подземными проездами и переходами;
- *встроено — пристроенными*.

Подземные сооружения, расположенные на свободных от застройки участках территории города, размещают под магистральными дорогами и магистральными улицами общегородского значения, железными дорогами, скверами, парками, водными преградами, различными естественными и искусственными препятствиями.

В зависимости от глубины заложения (*рис. 2.6*) подземные сооружения подразделяются на:

- *мелкого заложения*, расположенные на глубине $H < (2 + 3)V$;
- *глубокого заложения*, $H > (2 + 3)V$, (где V — наибольший размер, пролёт или высота поперечного сечения выработки).

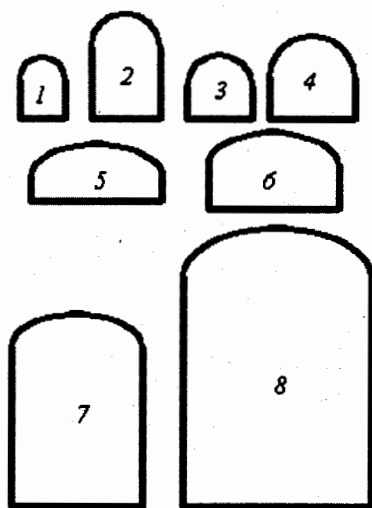


Рис. 2.4. Формы поперечные сечения выработок, наиболее часто используемые в Финляндии:
1 — канализационный тоннель, 2 — низконапорный гидротехнический тоннель, 3 — коллекторный тоннель, 4 — тоннель метрополитена, 5 — бомбоубежище, 6 — станция метрополитена, 7, 8 — склады нефтепродуктов

Методы проходки подземных сооружений определяются глубиной их заложения, конструктивными особенностями, топографическими, градостроительными и инженерно-геологическими условиями района строительства. Строительство подземных сооружений может осуществляться следующими способами: *открытым, опускным, горным, щитовым, механизированным* и способом *продавливания*. В сложных инженерно-геологических условиях (слабые грунты, плывуны и проч.) при проходке могут применяться специальные методы закрепления грунтов: искусственное замораживание, цементация, химическое закрепление и проч.

По взаимодействию подземного объекта с внешней средой (по «экологичности») подземные сооружения можно классифицировать следующим образом:

- сооружения, необходимость возведения которых определяется директивно, без учёта их возможного взаимодействия с

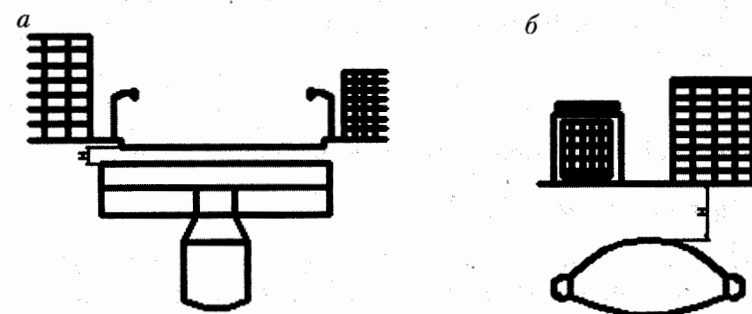


Рис. 2.5. Расположение подземных сооружений под незастроенной (а) и застроенной (б) территорией

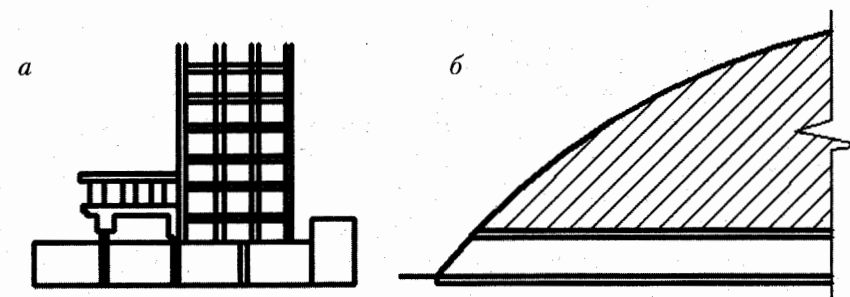


Рис. 2.6. Подземные сооружения мелкого (а) и глубокого (б) заложения

внешней средой (объекты специального назначения, гражданской обороны, некоторые транспортные тоннели, первые линии метрополитенов и проч.);

— сооружения, при проектировании и строительстве которых экологические факторы учитываются в неявном виде (большинство транспортных тоннелей и метрополитенов, подземные ГЭС и ГАЭС, различные хранилища и т.п.);

— сооружения, при проектировании и строительстве которых максимально учитывается взаимодействие подземного объекта и природной среды (Манежная площадь, Москва-Сити, современные линии метрополитенов);

— объекты, возведённые с целью минимизации влияния вредных факторов на окружающую среду (подземные АЭС, хранилища агрессивных и вредных веществ, радиоактивных отходов, современные автотранспортные тоннели);

— сооружения экологического назначения (альтернативные системы тепло- и энергоснабжения, использующие солнечную энергию, и т.п.).

2.2. Подземные сооружения транспортного назначения

2.2.1. Транспортная сеть города

Формирование транспортной сети города, в основном, определяется его историческим развитием. В зависимости от начертания магистрально-уличной сети выделяют следующие планировочные схемы городов:

— *радиальная* (рис. 2.7 а). Эта схема характерна для старых городов, развитие которых начиналось в местах пересечения важных торговых путей. Данная схема обеспечивает кратчайшую связь периферийных районов с городским центром, но, в тоже время, затрудняет сообщение отдалённых периферийных районов друг с другом. Это приводит к перегруженности транспортом центрального ядра города;

— *радиально-кольцевая* (рис. 2.7, в) схема развивалась в старых городах, находящихся на пересечении важных торговых путей и имевших системы кольцевых укреплений вокруг центра. Эта схема обеспечивает достаточно удобную связь отдалённых районов

города с центром — по радиальным направлениям и между собой — по кольцевым направлениям. Тем не менее, радиальные направления, по сравнению с круговыми, оказываются перегруженными пассажирскими и транспортными потоками, что также приводит к перенасыщению центра города транспортом;

— *прямоугольно-диагональная* (рис. 2.7, б) — характерна для многих старых городов с плановым развитием относительно исторического центра. Обладает теми же достоинствами и недостатками, что и радиально-кольцевая схема, но при этом характеризуется более равномерным распределением транспортных и пассажирских потоков по территории города;

— *веерная* (рис. 2.7, г) — аналогична радиально-кольцевой, обычно характерна для городов, расположенных на побережье;

— *прямоугольная* (рис. 2.7, д) схема характерна для современных городов с плановым развитием. Её особенностью является отсутствие строго выраженного центра и равномерное распределение пассажирских и транспортных потоков по всем районам;

— *свободная* (рис. 2.7, е) схема встречается в некоторых старых европейских и азиатских городах, сохраняет средневековую планировку и отличается достаточно сложными транспортными связями между районами.

Улично-дорожная сеть городов проектируется в виде непрерывной системы с учётом функционального назначения улиц и дорог, интенсивности транспортного и пешеходного движения, архитектурных и градостроительных решений территории.

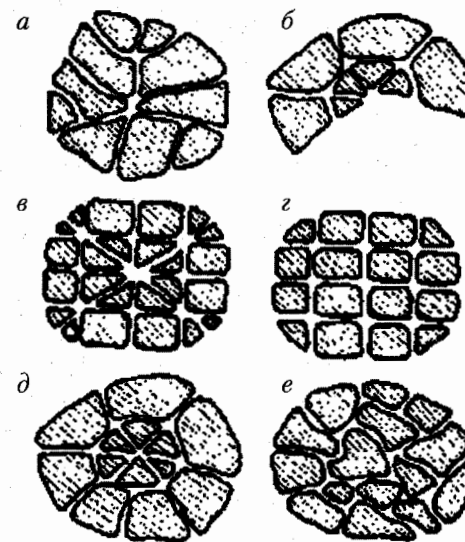


Рис. 2.7. Основные схемы городских транспортных сетей:

а — радиальная, б — прямоугольно-диагональная, в — радиально-кольцевая, г — веерная, д — прямоугольная, е — свободная

В крупных городах с радиальной, радиально-кольцевой и прямоугольно-диагональной улично-дорожными сетями стараются максимально сократить объёмы движения наземного транспорта через территорию исторического ядра общегородского центра путём устройства обходных магистральных улиц, а также протяжённых автотранспортных тоннелей глубокого заложения (подземных автомагистралей) под центром города.

На пересечениях магистральных улиц и дорог общегородского значения устраивают полные и неполные развязки в разных уровнях*. Для этого могут использоваться автодорожные и пешеходные тоннели.

2.2.2. Автотранспортные тоннели

Городские автотранспортные тоннели (рис. 2.8) служат для пропуска всех видов городского наземного пассажирского транспорта. Они предназначены для:

- обеспечения движения транспорта в разных уровнях на пересечениях, примыканиях и разветвлениях автомагистралей;
- увеличения пропускной способности участков магистралей;
- обеспечения подъезда к подземным гаражам и автостоянкам, торговым центрам, вокзалам, аэропортам и т.д.

Необходимость строительства автотранспортных тоннелей обычно возникает при реконструкции существующих и создании новых скоростных дорог и магистралей. Скорость автотранспорта и пропускная способность транспортных коммуникаций ограничиваются перекрёстком с пересечением транспортных потоков в одном уровне. Создание транспортной развязки в разных уровнях устраняет задержки транспорта на перекрёстке, способствует повышению скорости, обеспечению безопасности движения, увеличению пропускной способности перекрёстка.

Развязка транспортных потоков в нескольких уровнях осуществляется с помощью эстакад и тоннелей. В последние годы не-

* Категории улиц, дорог и варианты транспортных развязок приводятся в СНиП 2.07.01-89* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» и МГСН 1.01-99 «Нормы и правила проектирования планировки и застройки г. Москвы».

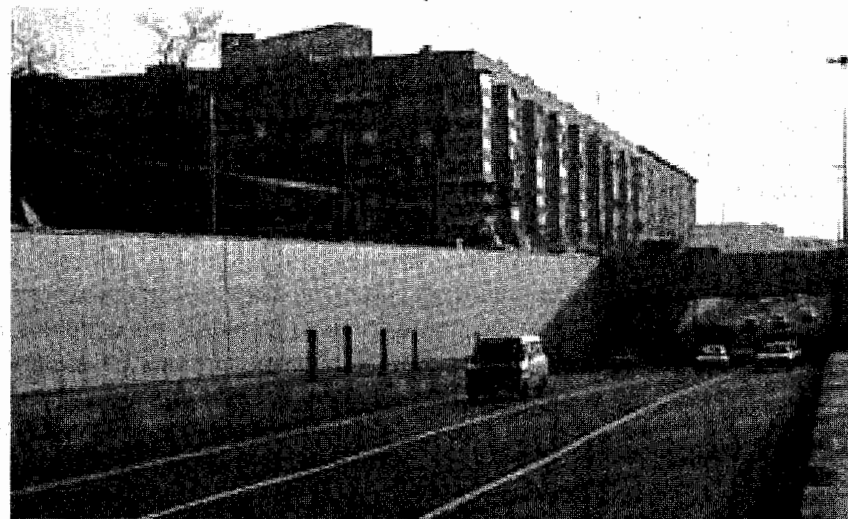


Рис. 2.8. Автодорожный тоннель под улицей Бориса Галушкина. Москва

редко устраивают комбинированные развязки с несколькими искусственными сооружениями в одном узле.

В отечественном градостроительстве устройство пересечений в разных уровнях одним из первых предложил проф. А.Е. Страментов: «При большой мощности транспортных потоков и исчерпании возможных мероприятий по повышению пропускной способности загруженного движением перекрёстка представляется целесообразным применить радикальное средство: устроить пересечение магистральных улиц с другими улицами в разных уровнях» [Страментов, 1951].

Нередко, при проектировании транспортных развязок в разных уровнях, предпочтение отдаётся тоннельному варианту, что связано с его градостроительными, архитектурными и техническими преимуществами по сравнению с эстакадным.

Различные планировочные решения автотранспортных тоннелей отличаются направлением тоннеля, его очертанием в плане, характером развязки транспортных потоков и т.д. Выбор планировочной схемы зависит от конфигурации имеющихся свободных территорий в месте развязки, топографии пересекающихся и примыкающих улиц, характера городской застройки, инженер-

но-геологических условий, наличия и месторасположения подземных коммуникаций.

Полную развязку с непрерывным движением по ней основных и поворачивающих потоков, для обеспечения непрерывности движения, устраивают на пересечении основных городских магистралей. В условиях плотной городской застройки делают развязки в двух, трёх и более уровнях, обеспечивающие непрерывное движение транспорта по главному направлению (рис. 2.9).

На Т-образных примыканиях двух магистралей транспортные тоннели располагают по направлению главной магистрали.

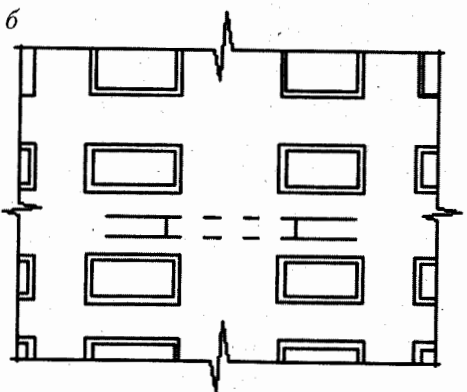
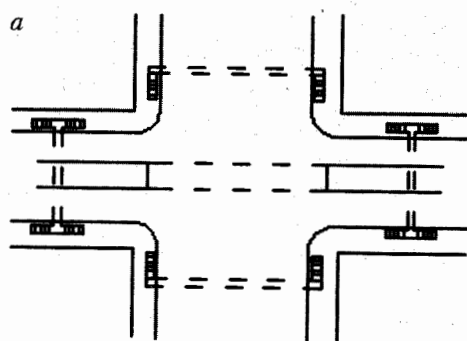


Рис. 2.9. Схемы транспортного тоннеля на прямом перекрёстке: обжатый вариант пересечения (а) и с организацией поворотов с развязками через квартал (б)

Пропуск пешеходов в месте развязки организуется по поверхности земли или по подземным пешеходным переходам под рамповыми участками транспортного тоннеля. В некоторых случаях создаётся система подземных пешеходных переходов.

Для увеличения пропускной способности по направлению основных магистралей могут сооружаться транспортные тоннели. Рамповые участки устраиваются по всей ширине тоннеля и состоят из двух частей, позволяя пропускать транспортные потоки над тоннелем (рис. 2.10). Аналогичные планировочные решения используются при проектировании транспортных тоннелей вдоль набережных.

Автотранспортные тоннели стараются распо-

гать на прямолинейной в плане трассе. Это мотивируется условиями безопасности дорожного движения, видимости в тоннеле, трассировки, строительства и эксплуатации. Криволинейные в плане тоннели могут проектироваться на съездах с основных магистралей, на У-образных примыканиях, на развилках автомагистралей и при необходимости обхода фундаментов зданий и сооружений, существующих тоннелей, коммуникаций и других подземных объектов (рис. 2.11).

В некоторых случаях на крупных площадях, примыканиях, пересечениях и разветвлениях трёх и более магистралей устраивают несколько изолированных или взаимосвязанных автотранспортных тоннелей, пересекающихся в двух уровнях.

Для пропуска движения в двух и более уровнях могут устраиваться многоярусные транспортные тоннели.

Минимальный радиус кривых в автотранспортных тоннелях составляет 400+600 м, максимальный продольный уклон — 40 %. Для обеспечения нормального отвода воды тоннели проектируются с двухскатным продольным профилем.

Если градостроительными условиями предусматривается движение в тоннеле пешеходов, то при проектировании необходимо предусмотреть тротуары для пешеходного движения шириной не менее 3 м, отделённые от проезжей части ограждением. Если пешеходное движение в тоннеле не предусмотрено, необходимо устройство служебного тротуара шириной 0,75 м.

Форма поперечного сечения автотранспортных тоннелей определяется глубиной заложения, величиной и

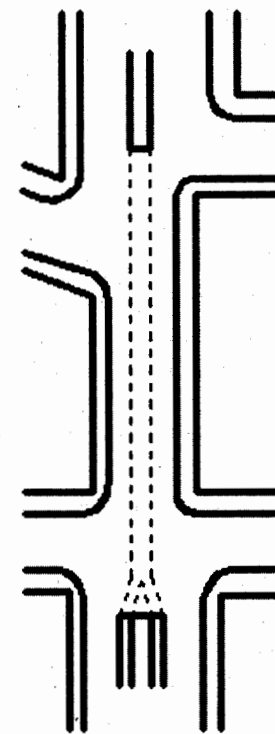


Рис. 2.10. Тоннель для увеличения пропускной способности магистрали на участке её сужения

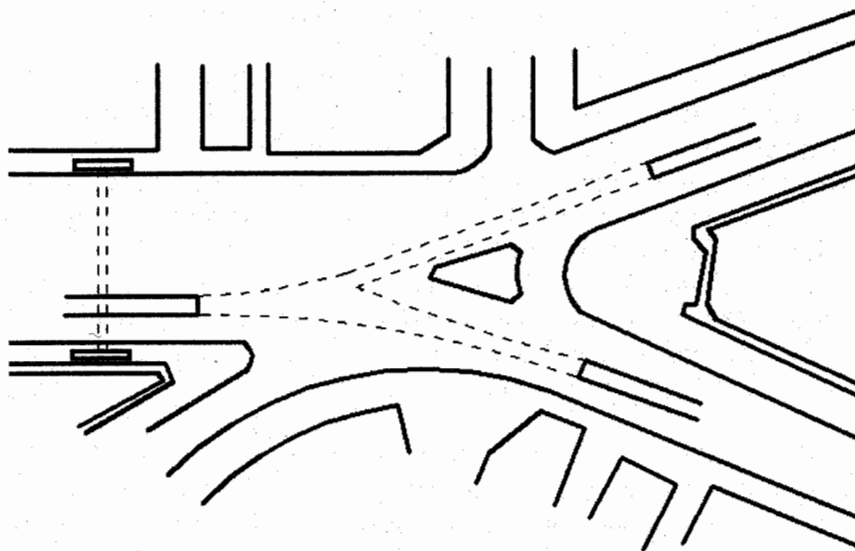


Рис. 2.11. Планировочная схема разветвляющегося тоннеля

характером распределения внешних нагрузок и инженерно-геологическими условиями. Транспортные тоннели мелкого заложения обыкновенно проектируют с прямоугольным поперечным сечением. В некоторых случаях возможно строительство транспортных тоннелей коробового или кругового очертания.

Строительство автотранспортных тоннелей способствует защите городской среды от шума. В большинстве крупных городов уровень шума значительно превышает значения, допускаемые санитарными нормами, причём более 90 % шума, в пределах развязок в одном уровне, создают наземные транспортные средства.

Во многих тоннелях применяют архитектурно-акустическую защиту, уменьшающую, а нередко, и полностью исключающую проникновение шума на городскую территорию. Для этого применяются звуко рассеивающие ограждения, подвесные потолки, стеновые панели. В качестве звукоизолирующих материалов используются: керамзит; капроновая, минеральная и шлаковата; пористые бетонные и керамические плиты; стеклоблоки; звуко-

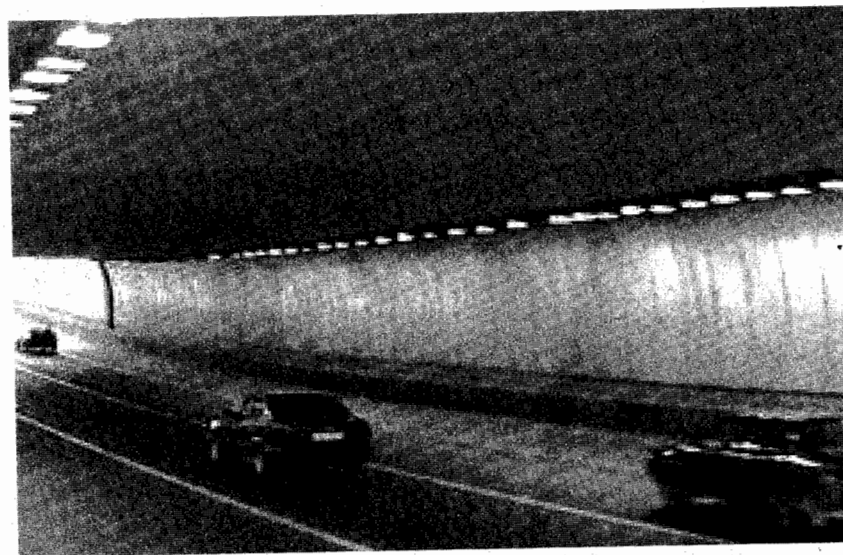


Рис. 2.12. Многофункциональные облицовочные панели из сталекерамики

изолирующий кирпич. Одним из последних достижений в этой области является применение многофункциональных облицовочных панелей из сталекерамики (рис. 2.12).

В настоящее время в Москве ведётся строительство третьего транспортного кольца, предназначенного для улучшения организации движения городского транспорта и разгрузки исторического центра города. Важной составной частью транспортной системы являются автотранспортные тоннели и сопутствующие им комплексы подземных сооружений, включающие подземные гаражи и автостоянки, железнодорожные тоннели, пешеходные переходы, выходы к станциям метрополитена, городской и пригородной железной дороги, магазины, рекреационные зоны.

В 1999 году было завершено строительство транспортной развязки на пересечении 3-го транспортного кольца Москвы с Кутузовским проспектом. Развязка представляет собой транспортную систему из тоннельных, эстакадных и наземных участков, обеспечивающих движение пересекающихся автомобильных

потоков в разных уровнях в безсветофорном режиме (рис. 2.13). Тоннельный участок транспортной развязки состоит из двух тоннелей основного движения автотранспорта по 3-му кольцу и четырех боковых тоннелей, обеспечивающих все направления дви-

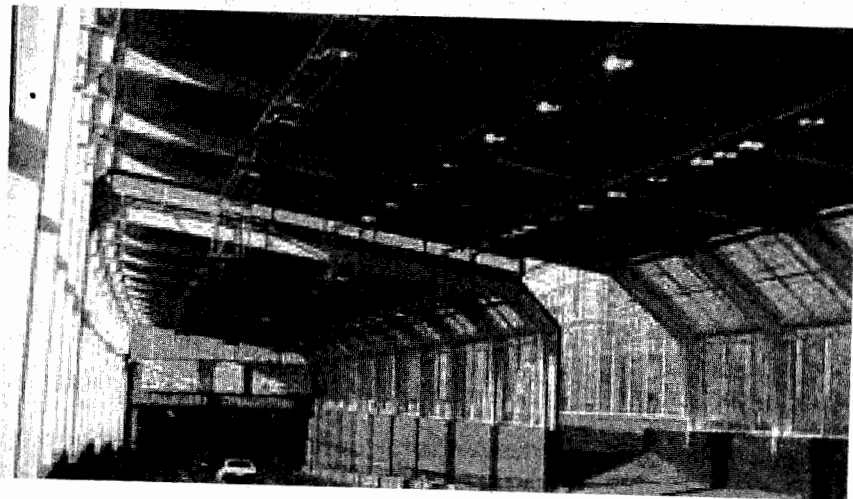


Рис. 2.13. Автодорожное тоннельное пересечение под Кутузовским проспектом. Москва

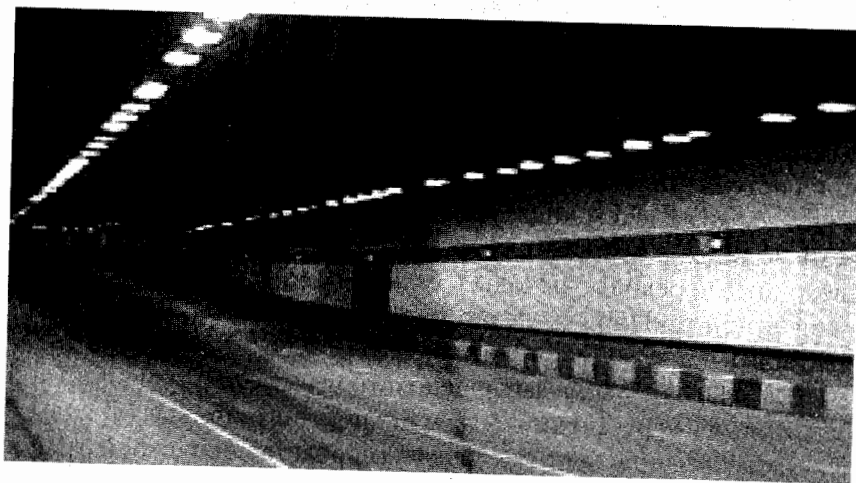


Рис. 2.14. Внутреннее оформление одного из двух основных автотранспортных тоннелей под Кутузовским проспектом. Москва

жения транспорта при съездах на Кутузовский проспект с Москва-Сити и из Лужников. В едином комплексе с тоннелями устроены две автостоянки.

Одним из наиболее сложных элементов тоннелей стало их техническое обустройство. Вдоль наружных стен и центральной оси предусмотрены коммуникационные коллекторы, под перекрытием тоннелей расположены короба системы принудительной вентиляции. Все подсистемы управления тоннелем в штатном и нештатном режимах: вентиляции, дымоудаления, пожарной и охранной сигнализации, телеавтоматической системы управления движением транспорта выведены в единый диспетчерский пункт.

Большое внимание было уделено архитектурному оформлению и конструктивным решениям, снижающим влияние шума и вибрации. Внутренние стены тоннелей облицованы специальными панелями (рис. 2.14), подпорные стены, цоколи аварийных выходов и вентиляционные киоски облицованы плитами полированного гранита (рис. 2.15). Рамповые участки тоннелей и наземные участки развязки, расположенные вблизи жилой застройки, защищены шумозащитными экранами.

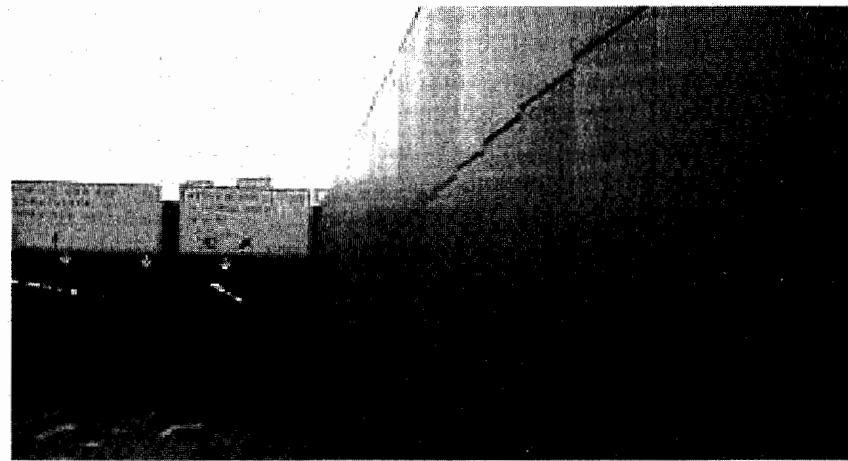


Рис. 2.15. Оформление рамповых участков основных автодорожных тоннелей под Кутузовским проспектом. Москва

2.2.3. Автомагистрали

В центральных районах крупных городов и городов-мегаполисов нередко создают протяжённые автотранспортные тоннели, дублирующие основные автомагистрали и обеспечивающие развязку движения в разных уровнях на нескольких узлах. Длина таких тоннелей может составлять не один километр. Для въезда и выезда автомобилей и остановок общественного транспорта предусматриваются промежуточные рампы.

Развитая сеть подземных автомагистралей способна практически полностью обеспечить транзитный пропуск транспортных потоков через центральные районы города. Трасса магистральных тоннелей должна быть увязана с расположением существующих и проектируемых крупных подземных комплексов, гаражей, автостоянок, авто- и железнодорожных вокзалов и других объектов городской инфраструктуры.

Подземные автомагистрали имеют ряд преимуществ перед наземными. В первую очередь, это меньшая площадь поверхности земли, занимаемая въездами и выездами, вентиляционными шахтами, эскалаторными тоннелями и другими вспомогательными сооружениями, а также удобство и стабильный температурный режим эксплуатации, безопасность движения и защита транспортных средств от неблагоприятных климатических воздействий. При этом происходит полное разделение транспортных и пешеходных потоков, становится более доступной, свободной и удобной наземная улично-дорожная сеть. Трассировка подземных автомагистралей обеспечивает минимально-возможную длину линий, соединяющих отдельные районы города, с учётом особенностей улично-дорожной сети, расположения крупных наземных и подземных сооружений и инженерно-геологических условий района строительства. Выделяемые автомобилями выхлопные газы удаляются посредством искусственной вентиляции.

Подземные автомагистрали могут дублировать сеть наземных магистралей, а, в отдельных случаях, могут располагаться независимо от поверхностных трасс (рис. 2.16).

В зависимости от градостроительных и инженерно-геологических условий подземные автомагистрали могут быть:

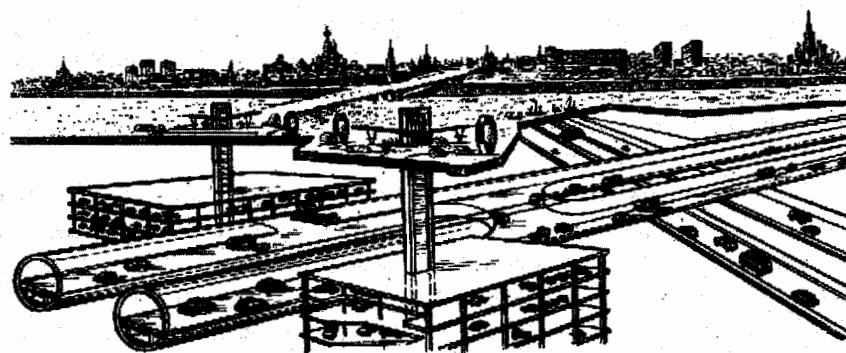


Рис. 2.16. Подземная автомагистраль (проект)

мелкого заложения. Применяются в малозастроенных и периферийных городских районах. Имеют простые и короткие въезды и выезды на поверхность. Строительство таких автомагистралей в центральных районах города осложняется условиями трассирования, требует переустройства подземных коммуникаций, нарушает нормальные условия движения пешеходов и транспорта на период строительства;

глубокого заложения. Применяются в центральных районах крупных городов. Характеризуются свободой в выборе трассы, независимостью от подземных коммуникаций, минимальными нарушениями условий дорожного движения по существующим магистралям, возможностью размещения по трассе автомагистралей подземных стоянок требуемой ёмкости.

Глубина заложения подземных автомагистралей определяется условиями расположения в однородных устойчивых неводоносных грунтах и осуществляется ниже подземных коммуникаций, коллекторных тоннелей и метрополитенов, обычно залегающих на глубине не более 30 + 40 м.

Подземные автомагистрали располагают, по возможности, на прямолинейном участке. Криволинейные участки используются для приближения магистралей к важным городским объектам, где предусматриваются въезды и выезды, а также в местах ответвлений к существующим подземным сооружениям.

Форма поперечного сечения магистральных тоннелей зависит от способа проходки и инженерно-геологических условий.

При глубоком заложении обыкновенно применяется круговая форма поперечного сечения, целесообразная по условиям статической работы конструкций и позволяющая разместить за габаритами проезда отсеки для пропуска инженерных коммуникаций и вентиляционные каналы (рис. 2.17).

В общем комплексе подземных автомагистралей глубокого заложения сооружают шахтные стволы, в качестве которых используются вертикальные или крутонаклонные выработки диаметром от 4 до 10 м и глубиной $10 \div 80$ м. На стадии строительства и эксплуатации магистрали шахтные стволы используются:

в качестве разведочных выработок в процессе инженерно-геологических изысканий; для ориентировки подземных выработок при проведении геодезическо-маркшейдерских работ; для создания дополнительных забоев по трассе протяжённого тоннеля; для вентиляции и в качестве несущих конструкций лестничных сходов, лифтов, инженерных коммуникаций в период эксплуатации. Поперечное сечение шахтных стволов может быть круговым, прямоугольным, многоугольным или овоидальным. Размеры поперечного сечения шахтных стволов определяются их назначением.

В Московском государственном горном университете разработано обоснование строительства в Москве двух подземных автомагистралей протяжённостью 20 км каждая [Субботин, 2000]. Комплекс выработок, при-

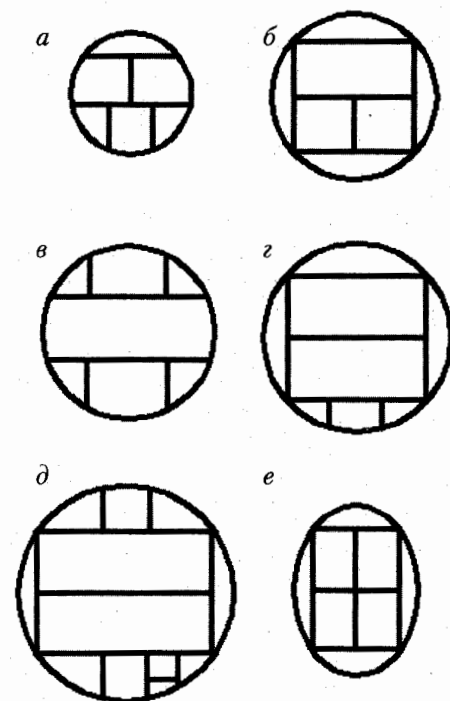


Рис. 2.17. Формы поперечного сечения магистральных тоннелей: а — двухполосных, б и е — четырёхполосных, в — трёхполосных, г и д — шестиполосных

мыкающих к автомагистралям, включает подземные гаражи, автостоянки, пешеходные переходы, выходы к станциям метрополитена, магазины, зоны отдыха, отдельные производства.

При строительстве подземных автомагистралей и примыкающих к ним комплексов выработок планируется попутная добыча полезных ископаемых, их переработка и получение строительных материалов: песка, щебня и цемента.

Подземные автомагистрали проектируются в виде прямолинейных в плане попарно параллельных четырёхполосных автодорожных тоннелей с односторонним движением транспортных средств, с промежуточными въездами—выездами, оборотными камерами, соединяющими магистральные тоннели, для изменения направления движения транспорта.

Первый тоннель должен начинаться на Ярославском шоссе у платформы «Северянин» Северной железной дороги и заканчиваться на пересечении Ленинского и Ломоносовского проспектов (рис. 2.18, тоннель I). Второй тоннель будет выходить на поверхность на Ленинградском проспекте у станции метро «Сокол» и на Волгоградском проспекте у станции метро «Выхино» (рис. 2.18, тоннель II). Такое расположение подземных автомагистралей позволит обеспечить сквозной пропуск транспортных средств через город без выезда на поверхность, разгрузить Садовое кольцо, Ярославское шоссе, Проспект Мира, Ленинградский и Ленинский проспекты города. Обе трассы будут пересекаться в разных уровнях и соединяться съездами и оборотными



Рис. 2.18. Схематический план трасс скоростных подземных автомагистралей. Москва

камерами, позволяющими автомобилям переезжать с магистрали на магистраль под землёй.

Въездные-выездные участки тоннелей проектируются двухполосными с устройством в месте их сопряжения с магистральными тоннелями дополнительных двух полос длиной около 100 м (рис. 2.19).

В тоннелях проектируются: продольно-струйная схема вентиляции, обеспечивающая проветривание участков между въездами-выездами длиной до 3 км без промежуточных вентиляционных киосков; автоматизированная система эксплуатации и контроля, позволяющая с помощью телеметрии наблюдать за движением в тоннеле, контролировать экологическую обстановку, обеспечивать противопожарную безопасность.

На участке третьего транспортного кольца от Андреевской набережной до улицы Вавилова завершено строительство Гагаринского тоннеля, предусматривающего сооружение автомобильного и железнодорожного тоннелей, проложенных параллельно путям Малого кольца Московской железной дороги. Необходимость сохранения существующих отметок железнодорожных путей определила размещение проезжей части автотранспортного тоннеля над перекрытием железнодорожного (рис. 2.20), далее оба тоннеля проходят в одном уровне под Ленинским проспектом и над существующей станцией метро «Ленинский проспект». Протяжённость автотранспортного тоннеля

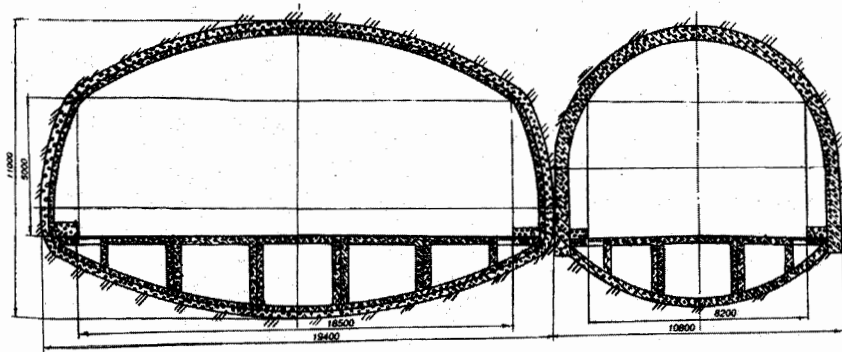


Рис. 2.19. Поперечное сечение сопряжения магистрального и въездного-выездного тоннелей

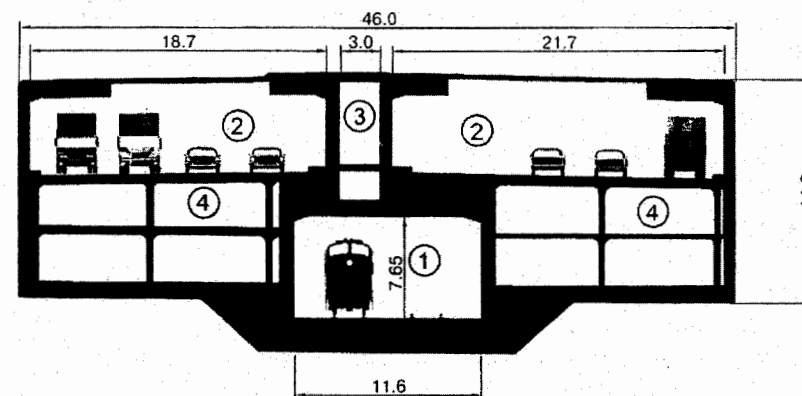


Рис. 2.20. Поперечное сечение Гагаринского тоннеля. Москва [Стеблов, 2000]:

1 — железнодорожный тоннель, 2 — автотранспортный тоннель, 3 — вентиляционный канал, 4 — технические помещения

составляет 900 м, железнодорожного — 920 м. В общем комплексе с тоннелями возведены системы инженерного обеспечения и подземные автостоянки. Все подземные помещения объединены одним конструктивным решением в многопролётную многоярусную пространственную рамную монолитную железобетонную конструкцию. Над тоннелями планируется разместить рекреационные зелёные зоны в створе здания Российской Академии наук и Нескучного сада, торговые помещения и зоны отдыха.

В настоящее время начинается строительство автодорожных тоннелей под районом Лефортово в Москве. Трасса проектируемых тоннелей длиной около 3200 м должна пройти в сложных инженерно-геологических и градостроительных условиях от Почтовых улиц до площади Проломной заставы под заповедной зоной исторического и архитектурного памятника «Лефортово». Впервые в отечественной практике тоннелестроения предстоит соорудить два близко расположенных параллельных тоннеля большого диаметра для пропуска автотранспорта с тремя полосами движения в каждом тоннеле. Одной из важнейших проблем, возникающих при строительстве тоннеля, является предотвращение просадок дневной поверхности при проходке под зданиями и сооружениями охраняемой зоны.

Строительство комплекса подземные сооружений третьего транспортного кольца Москвы позволит решить ряд важных градостроительных задач:

- улучшение качества городской среды и её благоустройство;
- повышение архитектурно-художественной ценности отдельных районов;

- сохранение природной среды на особо охраняемых территориях;

а также социальные задачи:

- экономия времени для проезда в центр города и обратно;
- сокращение транспортных потоков через центр, повышение безопасности движения;

- снижение транспортных нагрузок на городские автомагистрали;
- сокращение транспортных «пробок»;

- улучшение экологической ситуации путём снижения вредных выбросов в атмосферу.

2.2.4. Пешеходные тоннели и переходы

Одной из важнейших транспортных проблем крупных городов является упорядочение пешеходного движения путём создания специальных пешеходных путей. Эти пути должны быть изолированы от транспортных средств, удобны и доступны для населения и призваны обеспечивать связь со всеми элементами инфраструктуры города.

Наземный переход, несмотря на специальные мероприятия по обеспечению безопасности пешеходов (разметка, островки безопасности, чёткие указатели, светофорное регулирование, ограждения на тротуарах) полной безопасности пешеходов не гарантирует. Кроме этого, наличие наземного перехода влияет на скоростной режим транспортных средств, непрерывность движения, повышение уровня шума вдоль магистрали. Поэтому нередко применяют пешеходные переходы мостового, тоннельного (рис. 2.21) и подмостового (рис. 2.22) типов.

Пешеходный переход тоннельного типа имеет следующие преимущества перед мостовым: меньшая высота подъёма и опускания пешеходов, отсутствие промежуточных опор, снижающих видимость трассы, а также защита пешеходов от воздействия



Рис. 2.21. Пешеходный тоннель. Штутгарт



Рис. 2.22. Подмостовой пешеходный переход. Москва

вредных газов, выделяемых автомобилями, и от неблагоприятных погодных условий. Пешеходные мосты хуже вписываются в архитектурный ансамбль города, нередко возникают трудности с размещением сходов с моста. В тоже время, пешеходные тоннели не стесняют проезжую часть дороги и легче осуществляется их связь с наземными и подземными сооружениями.

Пешеходные тоннели и переходы в городах сооружают:

- на магистралях с непрерывным движением транспорта;
- на перекрёстках, примыканиях или развилках улиц и дорог, на крупных площадях, где интенсивные транспортные потоки затрудняют свободное и безопасное движение пешеходов в одном уровне с транспортом;
- в местах наибольшего тяготения пешеходных потоков (около станций метрополитена, железнодорожных, авто-, аэровокзалов, торговых центров, зрелищных предприятий, стадионов, парков и т.д.);
- в составе крупных транспортных развязок;
- при пересечении в черте города наземных линий железных дорог, метрополитена или скоростного трамвая;
- при пересечении высотных или контурных препятствий*.

На улицах скоростного движения, линиях скоростного трамвая и железных дорогах подземные пешеходные переходы устраивают с интервалом 400—800 м, на магистральных улицах непрерывного движения — с интервалом 300—400 м [СНиП 2.07.01-89*].

В крупных городах сооружаются подземные пешеходные переходы в разных уровнях. Их размещают вблизи крупных транспортных узлов (вокзалов, аэропортов и проч.), торговых и административных центров.

Нередко пешеходные тоннели возводят не только в городах, но и на трассах внегородских автомобильных и железных дорог, на станциях и перегонах, для пересечения небольших высотных и контурных препятствий. В некоторых приморских курортных городах устраиваются пешеходные тоннели в комплексе с лифтовыми подъёмниками.

Планировочные решения подземных пешеходных переходов зависят от топографических и градостроительных условий. В плане пешеходные тоннели стараются располагать перпендикулярно к направлению проезда. Если вблизи от проектируемого перехода имеется станция метрополитена, то расположение тоннелей сочетают со входом на станцию. При пересечении скорост-

* К высотным препятствиям относятся хребты, водоразделы, холмы, ущелья, дамбы, насыпи, различные инженерные сооружения. К контурным — овраги, реки, каналы.

ных дорог, автомагистралей, линий железной дороги, высотных и контурных препятствий устраивают одиночные пешеходные тоннели линейного типа (рис. 2.23). Если ширина тротуаров на участке вдоль магистрали недостаточна для пропуска пешеходов, то подземные переходы могут трассироваться вдоль магистрали, с ответвлениями для входа и выхода. Кроме того одиночные тоннели линейного типа проектируются на перекрёстках автомагистралей и на площадях, располагаясь по направлению главных пешеходных потоков. Часто на перекрёстках и площадях проектируют сеть пешеходных тоннелей в виде примыкающих друг к другу, пересекающихся и разветвляющихся коридоров или замкнутого контура (рис. 2.24, а). При интенсивном автомобильном и пешеходном движении, в случае преобладания прямых пешеходных потоков, предусматривают систему из четырёх тоннелей по двум направлениям (рис. 2.24, б). В случае преобладания пешеходных потоков в диагональных направлениях тоннели могут устраиваться по Х-образной схеме (рис. 2.24, в). На крупных транспортных развязках пешеходные переходы сооружают в общем комплексе с транспортными тоннелями.

На больших площадях, где сходятся более четырёх крупных магистралей и улиц, устраивают центральный распределитель-

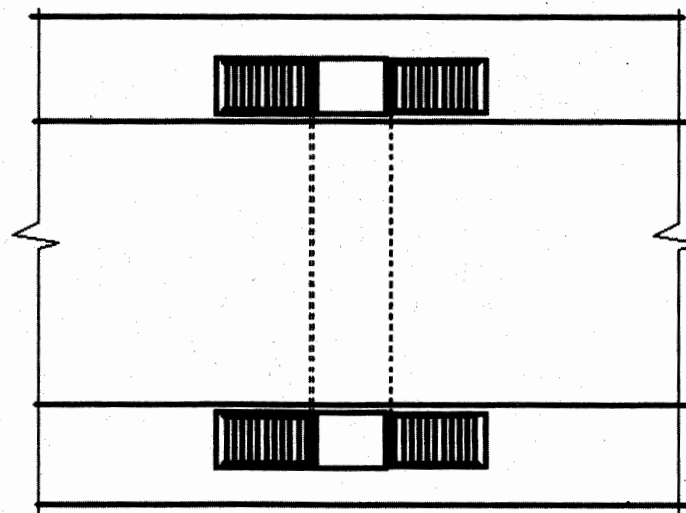


Рис. 2.23. Одиночный пешеходный переход линейного типа

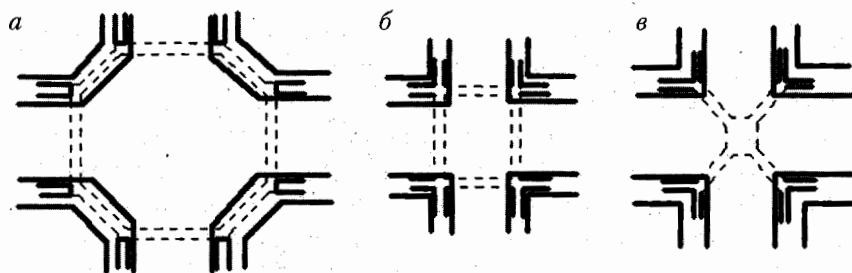


Рис. 2.24. Схемы расположения пешеходных тоннелей линейного типа на перекрёстке в виде замкнутого контура (а), четырех тоннелей по двум направлениям (б), по Х-образной схеме (в)

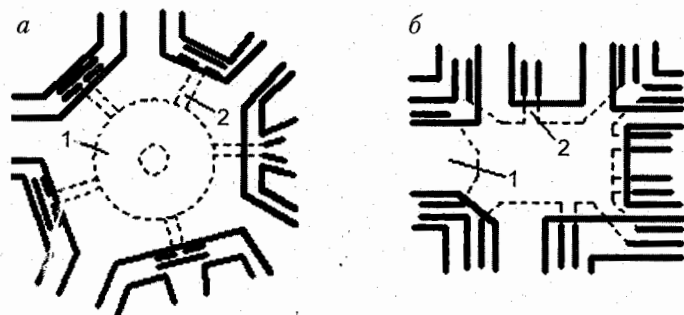


Рис. 2.25 (справа). Подземные пешеходные переходы зального типа кругового (а) и полигонального (б) очертаний:

1 — распределительный зал, 2 — пешеходные тоннели

ный пешеходный зал (рис. 2.25), к которому примыкают отдельные подземные коридоры, ведущие к тротуарам, остановкам общественного транспорта, станциям метрополитена, торговым и административным зданиям. Сооружение центрального зала позволяет равномерно распределить пешеходные потоки и разместить в нём магазины, киоски, торговые лотки, кафе, рестораны, рекламные витрины и стенды.

Глубина заложения пешеходных тоннелей назначается минимально возможной с учётом расположения подземных коммуникаций и особенностей рельефа местности.

Для связи пешеходного тоннеля с дневной поверхностью необходимо предусмотреть специальные сходы, подразделяемые, в

зависимости от глубины заложения тоннеля, рельефа местности, градостроительных решений и интенсивности пешеходных потоков, на:

- лестничные;
- пандусные;
- эскалаторные;
- лифтовые;
- комбинированные.

При глубине заложения тоннеля менее 3—3,2 м устраивают лестничные сходы с уклоном не более 1:3,3, размещаемые на тротуарах и в первых этажах зданий. При глубине заложения тоннеля более 3,2 м под углом 30° устраивают эскалаторы, перемещающиеся со скоростью 0,5—1 м/с. Во всех пешеходных переходах возводят пандусы (рис. 2.26) с уклоном не более 60 % и шириной не менее 1 м, либо накладные пандусы на лестничных сходах для подъёма и спуска детских и инвалидных колясок (рис. 2.27). В последние годы, для увеличения пропускной способности пешеходных переходов, в них всё чаще устраивают движущиеся тротуары (траволаторы).



Рис. 2.26. Пандус для спуска в пешеходный переход

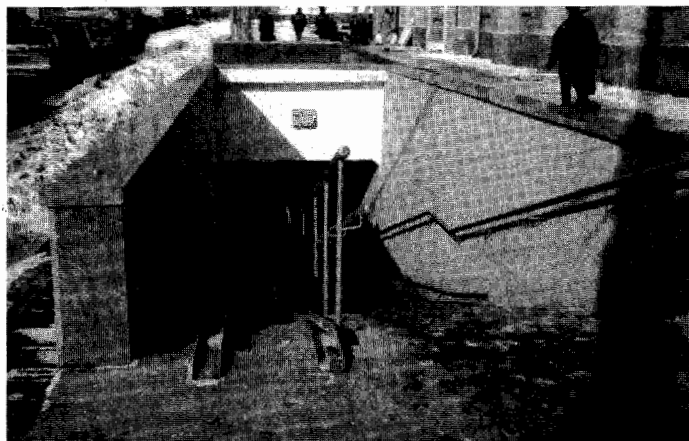


Рис. 2.27. Накладные пандусы на лестничном сходе для спуска в подземный пешеходный переход детских и инвалидных колясок

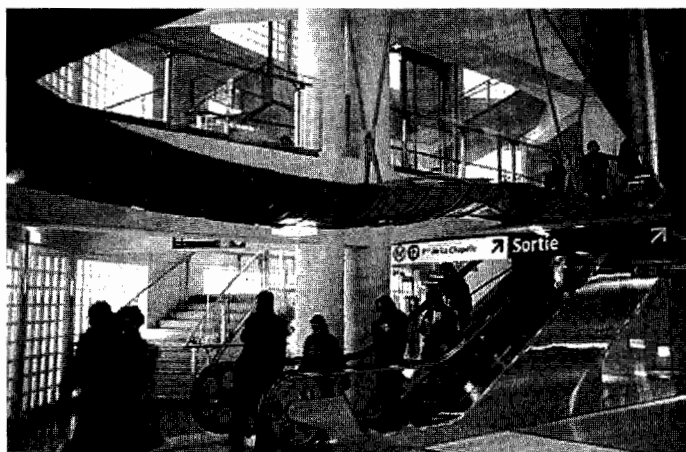


Рис. 2.28. Совмещённый вход в подземный пешеходный переход и на станцию метрополитена. Париж

Минимальные габариты пешеходного тоннеля в свету должны составлять: высота 2,5 м, ширина 3 м.

Входы и выходы могут располагаться по концам тоннелей и в промежуточных сечениях как по направлению тоннеля, так и

перпендикулярно или под углом к его продольной оси. Возможно устройство входов в пешеходные переходы непосредственно на тротуарах, в первых этажах и подвалах зданий или совмещёнными с другими подземными сооружениями (станциями метрополитена, автостоянками, подземными комплексами и т.д.) (рис. 2.28). При пересечении магистралей, имеющих несколько проезжих частей, у остановок общественного транспорта, авто- и железнодорожных вокзалов и т.п. пешеходные тоннели могут иметь промежуточные входы и выходы.

В пешеходных тоннелях требуется предусматривать дополнительные помещения для размещения электротехнических устройств, водопроводного ввода, водоотливной установки, устройств по обогреву лестничных маршей и хранения уборочного инвентаря, а также для обслуживающего персонала.

При проектировании автотранспортных и пешеходных тоннелей необходимо учитывать, что они являются важным элементом единого градостроительного комплекса и должны соответствовать современным направлениям и тенденциям в области архитектурно-пространственной композиции, быть увязаны с городской застройкой и планировкой, максимально разгружать городскую территорию, иметь выразительный пространственный облик. В первую очередь это требование предъявляют к рамповым участкам, порталам и наземным павильонам, вентиляционным киоскам и другим фрагментам подземных сооружений, имеющих непосредственную связь с городской архитектурой.

2.2.5. Метрополитены

Метрополитеном называется городской внеуличный электрифицированный рельсовый транспорт, предназначенный для скоростных массовых перевозок пассажиров. К метрополитенам относят различные виды скоростного внеуличного транспорта (табл. 2.3), в том числе:

- метро;
- мини-метро;
- «метро центра»;
- экспресс-метрополитен;
- наземный лёгкий метрополитен.

Таблица 2.3. Виды скоростного внеуличного транспорта

Показатели	Экспресс-метрополитен	Мини-метро	Наземный лёгкий метрополитен	Городская железная дорога	Скоростная транспортная система	Моно-рельсовая транспортная система
Характер прокладки	Тоннельный	Тоннельный	Наземный, эстакадный, тоннельный	Наземный	Наземный, эстакадный	Наземный, эстакадный
Внутренний габарит тоннеля, м	5,1–5,2	4,5–5,0	5,1–5,2	—	—	—
Минимальный радиус поворота в плане, м	1000	150	150	600	300	25
Максимальный продольный уклон, %	30	60	60	9	40	100
Среднее расстояние между станциями, м	3000	500–800	800	1700	5000	800–1000

Кроме того, в настоящее время проектируются новые виды скоростного внеуличного транспорта, имеющие различные технические отличия от существующего метро и призванные улучшить качество работы системы скоростного транспорта.

Метрополитен — сложнейшее инженерное сооружение, включающее станционные, перегонные и эскалаторные тоннели, шахтные стволы, камеры различного назначения (для размещения систем водоотлива и вентиляции, санузлов, медпунктов, камер съездов; службы пути, тягово-понижительных подстанций), кабельные ходки, наземные вестибюли станций. Многие станции имеют высокую архитектурно-художественную ценность, а нередко становятся уникальными произведениями архитектуры (рис. 2.29). В их оформлении используют различные виды мрамора, гранита, декоративной керамики, художественную лепку, римскую и флорентийскую мозаики, скульптуру, фрески, уникальную осветительную арматуру и системы освещения.

Линии метрополитенов подразделяются на:

надземные, располагаемые на эстакадах, высота которых определяется габаритами наземного транспорта, рельефом местности и градостроительными условиями (рис. 2.30);

наземные, располагаемые на поверхности земли, там, где это позволяют планировочные условия (рис. 2.31);

подземные, располагаемые на глубине от 5 до 70 и более метров от поверхности земли (рис. 2.32). В некоторых городах под землёй располагаются линии скоростного трамвая и участки железнодорожных линий.

Проектирование линий метрополитена базируется на следующих основных принципах создания эффективных транспортных коммуникаций:

1. комфортабельности — наиболее полное удовлетворение потребностей пассажиров путём создания удобной системы массовых скоростных регулярных и безопасных перевозок при соблюдении требований санитарно-гигиенических норм;

2. эксплуатационном — обеспечение гибкой, удобной и безопасной эксплуатации с наименьшими трудозатратами путём создания долговечных и надёжных сооружений, автоматизированных технологических устройств, подвижного состава, современной ремонтной базы;

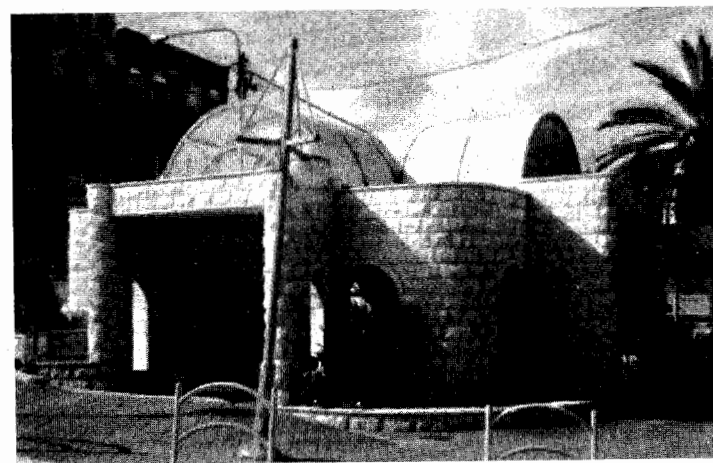


Рис. 2.29. Вход на станцию метро «Париж». Хайфа, Израиль

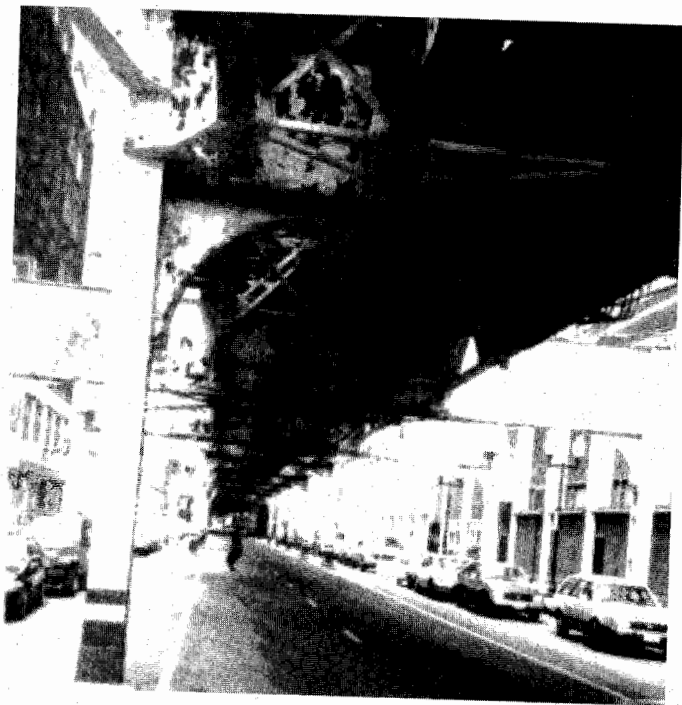


Рис. 2.30. Эстакада надземной линии метрополитена. Чикаго



Рис. 2.31. Наземная линия метро. Лиль, Франция

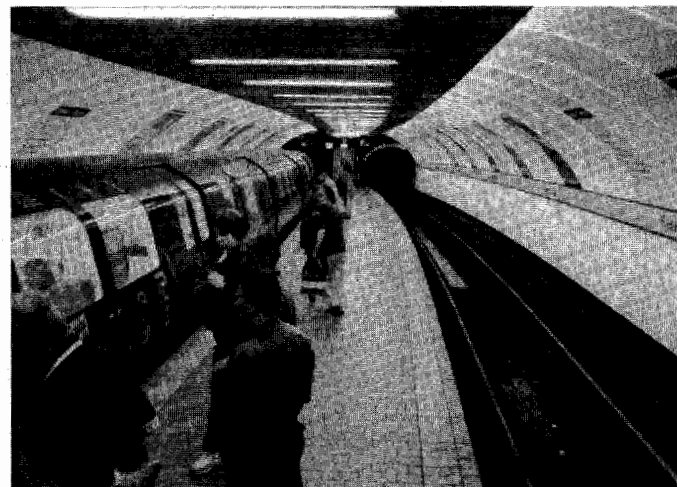


Рис. 2.32. Подземная станция метрополитена. Глазго, США

3. строительном — обеспечение высокого качества при минимальной стоимости и трудоёмкости строительства, путём комплексной механизации работ, ее чёткой специализации, создания индустрии тоннельных конструкций и монтажных узлов;

4. экологическом — обеспечение нормальных условий жизнедеятельности города в период строительства и эксплуатации метрополитена путём выбора рациональной схемы прокладки линий и способов производства работ с учётом требований охраны окружающей среды;

5. технико-экономическом — обеспечение высокого технического уровня строительства и эксплуатации при минимальных трудовых, материальных и финансовых затратах, путём использования современных конструктивных и технологических решений.

Проектирование трассы линий метрополитена определяется городской застройкой и ведётся в соответствии с генеральным планом развития города.

Обычно для городов с численностью населения порядка 1 млн чел. разрабатывают генеральную схему линий метрополитена, представляющую собой долгосрочный стратегический план развития его сети. Схема предусматривает направления, протя-

жённость и очерёдность строительства линий, места расположения станций, депо, пересадочных узлов между станциями метро и остановочными пунктами железных дорог. В частности, «Генеральным планом развития города Москвы до 2005 года» предусматривается увеличение протяженности линий действующей сети метрополитена и линий скоростного трамвая до 420 км, создание нового пересадочного контура станций на периферии Центрального Административного округа, строительство дополнительных входов и новых станций на действующих линиях.

В большинстве случаев линии метро мелкого заложения прокладывают вдоль основных городских магистралей, резервируя для них техническую зону шириной не менее 40 м для упорядочения строительства наземных и подземных городских сооружений и прокладки инженерных коммуникаций.

Для линий глубокого заложения размещение в плане, в первую очередь, определяется расположением станций, между которыми по кратчайшему направлению прокладываются тоннели, вне зависимости от расположения существующей застройки (за исключением особо ценных монументальных сооружений и глубоких размывов коренных пород, которые необходимо обойти). Радиусы кривых принимают наибольшими.

Глубину заложения тоннелей метрополитена назначают, исходя из:

- существующей застройки и планировки города;
- ширины городских проездов;
- расположения подземных коммуникаций;
- топографии местности;
- инженерно-геологических и гидрогеологических условий по трассе.

Лучшие эксплуатационные и экономические показатели имеют тоннели мелкого заложения, характеризующиеся тем, что тоннели и станции сооружаются на минимально возможной глубине от дневной поверхности. Им отдаётся предпочтение при строительстве линий метрополитена во вновь застраиваемых районах, когда не нарушаются и не переносятся крупные городские коммуникации и не возникает необходимости в проведении значительных объёмов работ по укреплению зданий. При мелком заложении линий метрополитена значительно снижается сто-

имость станционных входов и появляется возможность увеличения их количества. Линии, преимущественно, трассируются под крупными улицами и магистралями и слабо застроенными кварталами.

В центральных районах города предпочтение отдаётся тоннелям глубокого заложения. В этом случае перегонные тоннели и станции возводят в коренных породах. К основным недостаткам таких линий можно отнести более высокую стоимость их строительства, увеличение сроков возведения и затраты времени на вход и выход пассажиров на станции, а также значительные эксплуатационные расходы. Например, стоимость наклонного эскалаторного тоннеля на линиях глубокого заложения составляет до 35% от всей стоимости станционного комплекса (рис. 2.33).

В районах новой застройки города, если это допускается существующими градостроительными условиями, в целях удешевления строительства проектируют наземные линии метрополитена. Их трасса увязывается с существующей планировкой городской застройки. На пересечении линий метрополитена с улицами и магистралями проектируются автодорожные тоннели, теплотрассы и пешеходные переходы. Эти линии имеют самую низкую стоимость строительства и эксплуатации, но из-за повышенного уровня шума и нарушения нормальных условий жизнедеятельности города в местах прокладки они не находят широкого распространения.

В России и большинстве стран мира сеть линий метрополитена построена по принципу независимого движения поездов по каждой линии, с возможностью перехода с одной линии на другую на пересадочных узлах. Эти узлы представляют собой системы станций, расположен-

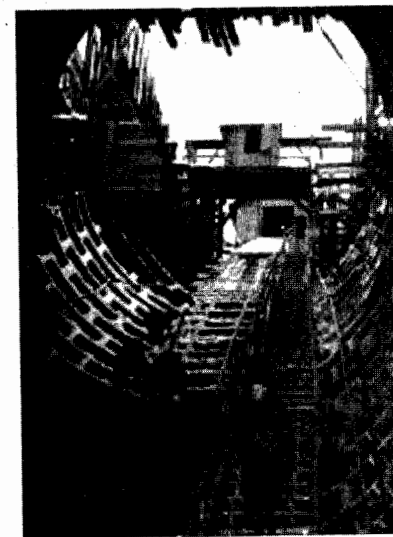


Рис. 2.33. Строительство эскалаторного тоннеля. Санкт-Петербург

ных в разных уровнях на разных линиях и имеющих устройства, обеспечивающие пересадку пассажиров с одной линии на другую.

В городах с радиальной схемой планировки транспортной сети обычно развивается радиальная схема метрополитена из 3–4-х линий (рис. 2.34, а). В нашей стране эта схема характерна для городов с числом жителей от 1 млн до 4 млн чел. (Екатеринбург, Челябинск, Красноярск и проч.) (рис. 2.35). В мегаполисах с населением более 4 млн чел. используется радиально-кольцевая схема метрополитена (рис. 2.34, б, рис. 2.36). Возможна трансформация радиальной схемы в радиально-кольцевую, как это происходило в Москве (ср. рис. 1.28 и 2.36) и происходит в Санкт-Петербурге.

Прямоугольная схема развития линий (рис. 2.34, в) характерна для метрополитена таких европейских и американских городов, как Лондон, Париж, Чикаго (рис. 2.37), кольцевая схема (рис. 2.34, г) — для Глазго (рис. 2.38), Манилы (рис. 2.39), линейная (рис. 2.34, д) — для Хайфы. С ростом населения и развития города линейная схема может трансформироваться в X-образную (рис. 2.34, е, рис. 2.40), а затем в радиальную и радиально-кольцевую.

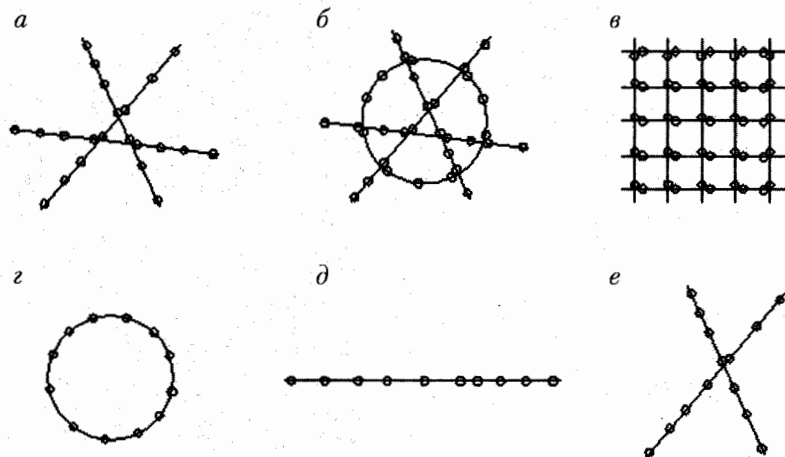


Рис. 2.34. Типичные схемы линий метрополитена: а — радиальная, б — радиально-кольцевая, в — прямоугольная, г — круговая, д — линейная, е — X-образная

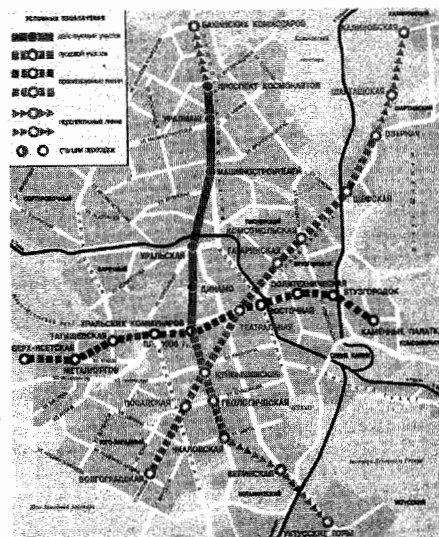


Рис. 2.35. Радиальная схема линий метрополитена. Екатеринбург



Рис. 2.36. Радиально-кольцевая схема метрополитена. Москва

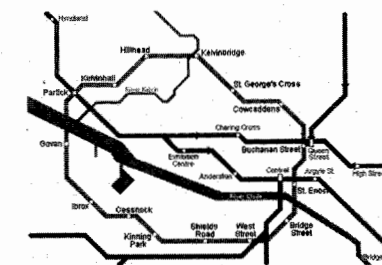
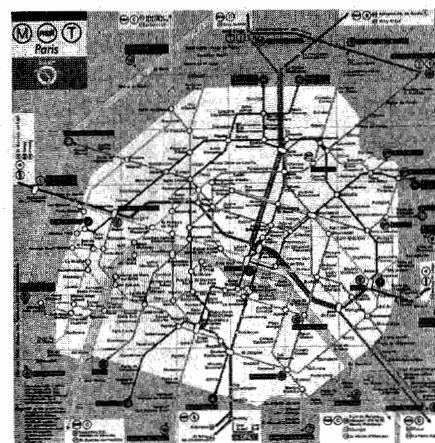


Рис. 2.37 (слева). Прямоугольная схема метрополитена. Париж, Франция

Рис. 2.38 (справа). Круговая схема метрополитена. Глазго, США

вую. Приведённые схемы имеют достаточно упрощенный характер и нередко расположение линий того или иного города достаточно сложно привязать к какой-либо типовой схеме. В любом случае, схема линий метрополитена должна отражать специфические особенности конкретного города — его планировку, раз-



Рис. 2.39 (слева). Круговая схема метрополитена. Манила, Филиппины

Рис. 2.40 (справа). Х-образная схема метрополитена. Пьён-Янг, Корея

мещение жилых и промышленных комплексов, административных и культурных центров, зон отдыха, крупных спортивных комплексов.

Основную часть линий метрополитена составляют перегонные тоннели (рис. 2.41). В зависимости от числа путей, они подразделяются на:

- однопутные, предназначенные для движения поездов в одном направлении;
- двухпутные, вмещающие в общий конструктивных объём пути двух направлений движения;
- многопутные, вмещающие от трёх до шести путей.

Число путей в перегонном тоннеле определяется интенсивностью пассажиропотоков, глубиной заложения тоннелей, способом производства работ, типом пассажирских платформ. При глубоком заложении тоннели, как правило, бывают однопутными, круглого сечения. При мелком заложении — одно- или двухпутными. Многопутные тоннели, при небольшой глубине заложения, обычно сооружают открытым способом.

Для организации безопасного движения поездов предусматривают дополнительное путевое развитие и технические устройства, в частности, оборотные устройства, предназначенные для изменения направления движения поездов.

На каждой линии метрополитена протяжённостью менее 20 км устраивают одно электродепо. В некоторых случаях возможно устройство одного электродепо для двух линий, соединённых специальной соединительной веткой.

Если линия вводится в эксплуатацию отдельными участками, то для её равномерного заполнения подвижным составом, оборота и отстоя поездов через каждые 5—8 км предусматривают стрелочные переводы на прямых в плане участках пути.

Габариты тоннелей метрополитенов устанавливаются исходя из условий пропуска состава, применения устройств пути и контактного рельса с нижним токосъёмом, размещения оборудования и обеспечения возможности прохода обслуживающего персонала. *Габарит приближения оборудования* включает в себя габарит подвижного состава с учётом всех отклонений вагона в движении при поломке одного комплекта рессор и возможных смещений верхнего строения пути, причём размещённое за пределами габарита оборудование не должно приходить в соприкосновение с подвижным составом. В нижней части габарита приближения оборудования предусматривают два очертания: для размещения кронштейна с контактным рельсом и для токоприёмника вагона, при отсутствии кронштейна и контактного рельса (см. рис. 2.41). *Габарит приближения строений* для перегонных тоннелей кругового очертания включает размещение оборудования и дорожки для прохода служебного персонала, располагаемые с левой стороны по ходу движения состава. Он обеспечивает эксплуатацию вагонов шириной 2,7 м, высотой 3,7 м, применение верхнего строения пути и контактного рельса с нижним токосъёмом. Габарит при-



Рис. 2.41 Однопутный перегонный тоннель метрополитена. Гамбург, Германия

ближения строений определяет расстояние от оси пути и уровня головки рельсов до обделки тоннеля.

При закрытом способе ведения работ линии метрополитена проектируются в виде двух однопутных тоннелей, расстояние между осями которых обычно принимается равным междупутью на станциях. Ширина целика между тоннелями должна быть не менее наружного диаметра обделки тоннеля ($5,5 + 6$ м).

Криволинейные в плане участки пути располагают на подходах к станциям и пересадочным узлам, в местах изменения направлений прямолинейных участков, например, при обходе препятствий (рис. 2.42). Для сопряжения прямых в плане используют кривые радиусом не менее: на главных путях — 600 м, соединительных путях — 150 м, парковых путях и в депо — 75 м. В сложных инженерно-геологических, гидрогеологических и градостроительных условиях, при наличии соответствующего технико-экономического обоснования, допускается принимать меньшие значения радиусов кривых, но не менее: на главных путях — 300 м, соединительных путях — 100 м, парковых путях —

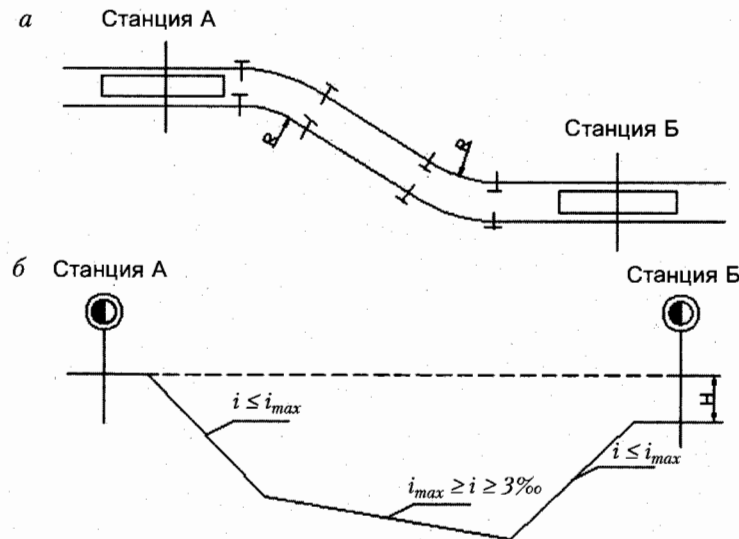


Рис. 2.42. Фрагменты плана и профиля линии метрополитена:
а — схематический план перегона, б — схематический продольный профиль,
 ΔH — разность отметок заложения станций

60 м. Для плавного вписывания поезда при переходе с прямого участка на кривую радиусом менее 2000 м используются переходные кривые в форме гиперболической или логарифмической спирали. Длины спиралей определяются нормами проектирования в зависимости от расчётной скорости движения поездов. Минимальный уклон элементов продольного профиля принимается не менее 3 ‰, исходя из условий обеспечения естественного движения дренажных вод по водоотводному лотку. В отдельных случаях допускается горизонтальное размещение отдельных участков пути при условии обеспечения водоотвода. Максимальный уклон элементов продольного профиля определяется условиями надёжного сцепления колёс движущегося поезда с рельсами и не превышает 40 ‰.

Станции метрополитена предназначены для обслуживания пассажиров (входа и выхода на станцию, посадки и высадки в поезда, пересадки на другие линии) и осуществления технических функций, связанных с движением поездов.

Станции метрополитенов располагают в местах образования крупных пассажиропотоков: на центральных площадях, пересечениях линий метрополитена с пригородными линиями железных дорог, у железнодорожных, авто- и аэровокзалов, аэропортов, речных и морских пассажирских портов, крупных стадионов и мест отдыха горожан, в районах массовой жилой застройки. Пешеходная доступность станций в периферийных районах принимается не более 700 м, транспортная — 2,2 км; в центральных районах города пешеходная доступность не должна превышать 500 м. Для обеспечения возможности устройства удобных пересадочных узлов станции метрополитена размещают в максимальной близости к существующим и проектируемым станциям других видов транспорта. Расстояние между станциями метрополитена, как правило, составляет 1,2–2 км, но не менее 800 м. В центральной части города оно определяется конкретными градостроительными условиями.

В транспортно-пересадочных узлах протяжённость пешеходных путей от остановочных пунктов наземного транспорта до станций скоростного внеуличного пассажирского транспорта не должна превышать 100 м. В пересадочных узлах типа «метрополитен — пригородно-городская и городская железная дорога» протяжённость пешеходных путей может быть увеличена до 150 м.

Станции в плане стараются располагать на прямой. В исключительных случаях допускается размещать станции на кривых радиусом не менее 800 м (рис. 2.43). Продольный профиль пути в пределах станции стараются проектировать односкатным с уклоном 3 %, в отдельных случаях допускается увеличение уклона станции до 5 %.

По эксплуатационным условиям станции стараются располагать в профиле «на горбе», что позволяет легче снижать скорость поезда при подходе к станции и увеличивать — при отходе поезда

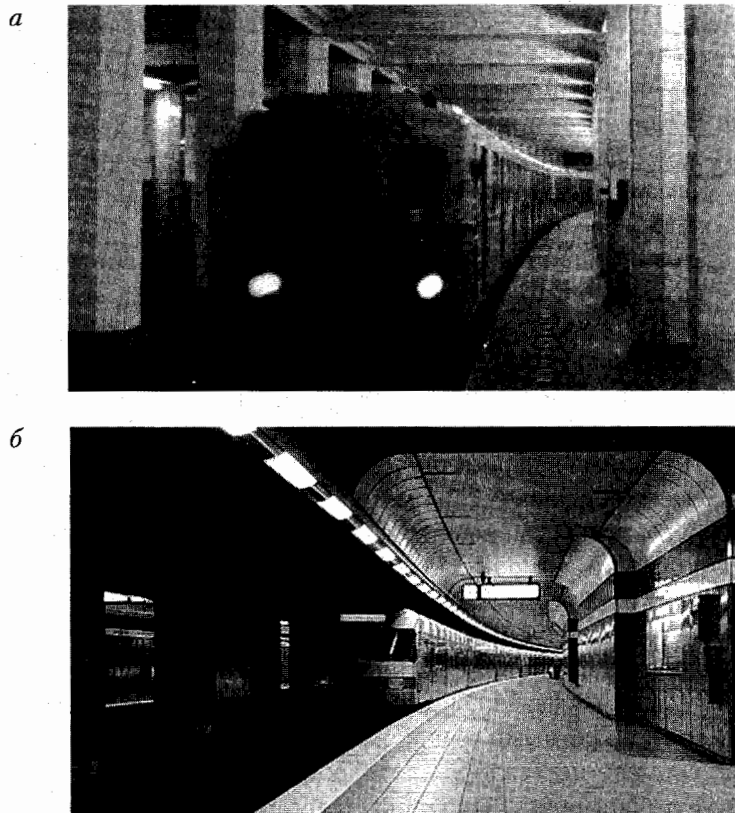


Рис. 2.43. Примеры станций метрополитена с криволинейной в плане платформой:

а — «Александровский сад», Москва; *б* — «Университет», Штутгарт

да со станции (см. рис. 2.42, б). Длину элемента профиля для станций, расположенных «на горбе», принимают не менее длины посадочной платформы, а для станций, расположенных «в яме», — не менее длины платформы плюс 20 м.

По глубине заложения станции бывают нескольких видов.

1. Наземные станции:

стараются совмещать со станциями пригородных поездов или депо. Станции могут иметь как открытые, так и закрытые залы с боковыми, реже с островными, платформами (рис. 2.44). Линии

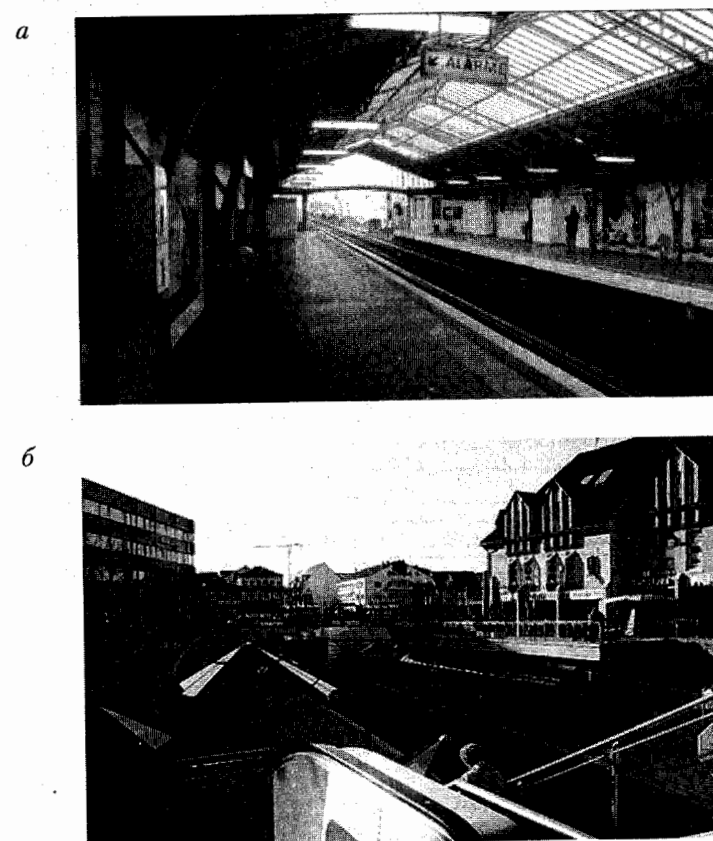


Рис. 2.44. Примеры наземных станций метрополитена в Париже (*а*) и в Штутгарте (*б*)

стараятся выводить на поверхность в непосредственной близости от станции, за исключением наземных линий метрополитена. Примеры наземных станций в Москве — «Измайловская», «Студенческая», «Фили», в Санкт-Петербурге — «Девяткино», «Купчино», «Рыбацкое».

2. Станции мелкого заложения:

1) одноплатформенные с островной платформой (рис. 2.45, а, рис. 2.46) характеризуются простым и чётким ориентированием пассажиро-потоков, равномерным заполнением платформы, компактным решением входа, выхода и пересадки, простым планировочным и целостным архитектурным решениями, удобной связью с поверхностью. Недостатком такого типа станций является пересечение пассажирских потоков при движении по платформе. Примеры: «Октябрьское поле», «Первомайская», «Щёлковская» в Москве;

2) двухплатформенные станции с двумя боковыми платформами (рис. 2.45, б, 2.47, см. рис. 2.43) характеризуются независи-

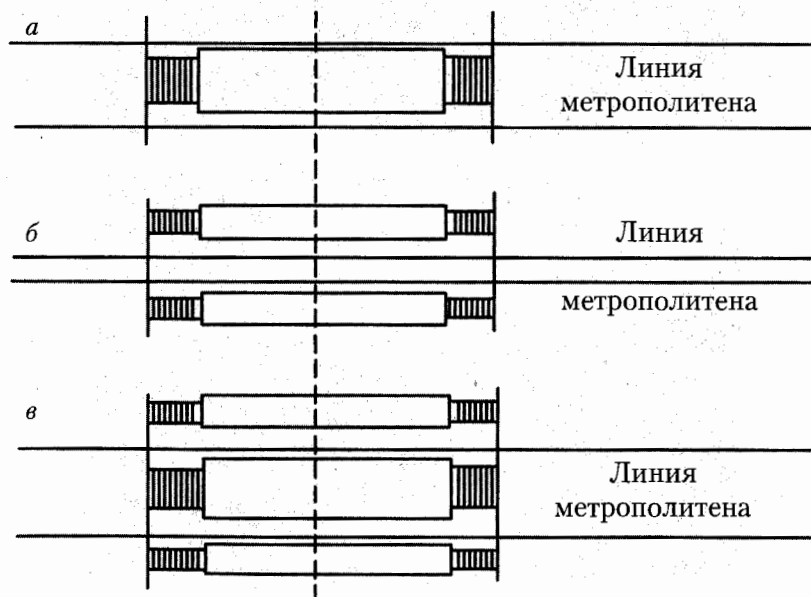


Рис. 2.45. Станции метрополитена мелкого заложения: а — с островной платформой, б — с двумя боковыми платформами, в — с двумя боковыми и одной островной платформой

а



б



в



Рис. 2.46. Примеры станций мелкого заложения с островной платформой в Москве (а) и в Берлине (б, в)



Рис. 2.47. Станция мелкого заложения с двумя боковыми платформами. Париж

мым размещением платформ по направлениям движения поездов и разделением пассажиропотоков. Основные недостатки — неравномерная загрузка платформ, сложность архитектурного оформления и ориентирования пассажиропотоков. Примером станции с боковой платформой может служить «Александровский сад» в Москве (см. рис. 2.43, а);

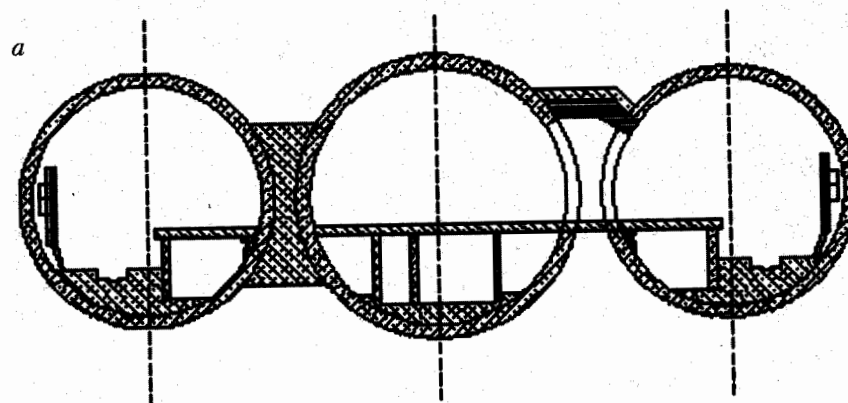
3) трёхплатформенные станции со средней островной и двумя боковыми платформами (рис. 2.45, в, см. рис. 1.31) характеризуются полным разделением пассажиропотоков по разным направлениям движения. На таких станциях пассажиры входят в поезд с островной платформы, а выходят из него на боковую, что существенно увеличивает пропускную способность станции. Основные недостатки: необходимость устройства дополнительных переходов с одного направления движения на другое, сложность в ориентировании пассажиропотоков, значительно более высокая стоимость строительства. Примеры: «Полежаевская» и «Измайловский парк» в Москве.

3. Станции глубокого заложения:

1) пилонная, имеет три свода: два над путевыми коробами и посадочными платформами и один над центральной платформой (распределительный зал). Центральная платформа, как правило,

выполняется не на всю длину станции и отделяется от боковых тоннелей двумя рядами массивных пилонов, служащих опорами свода (рис. 2.48). Длина распределительного зала и количество проёмов назначают в зависимости от расчётной величины пассажиропотока. К торцам распределительного зала примыкает наклонный ход с несколькими эскалаторами, соединяющими платформу станции с полом наземного вестибюля. Примерами станций пилонного типа могут служить: «Чистые пруды», «Площадь Революции», «Красные ворота», «Бауманская» в Москве; «Площадь Восстания», «Владимирская», «Пушкинская» в Санкт-Петербурге;

2) колонная — свод подземного зала на станциях такого типа поддерживается двумя рядами колонн, отделяющих боковые по-



б



Рис. 2.48. Пилонная станция глубокого заложения:
а — разрез, б — «Площадь восстания». Санкт-Петербург

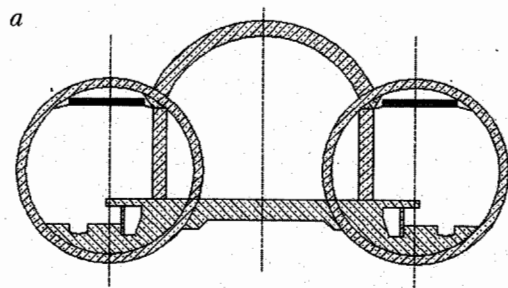
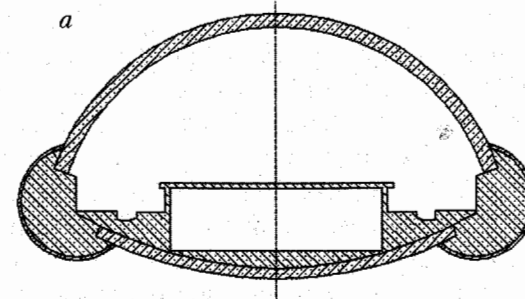


Рис. 2.49. Колонная станция метрополитена:
а — разрез, б — «Автово», в — «Кировский завод». Санкт-Петербург



Рис. 2.50. Односводчатая станция:

а — разрез, б — «Лиговский проспект». Санкт-Петербург



садочные платформы от центральной (рис. 2.49). Натяжная камера эскалаторов обычно примыкает к торцу платформы. К станциям такого типа относятся: «Маяковская» и «Петровско-Разумовская» в Москве; «Ленинский проспект» и «Приморская» в Санкт-Петербурге;

3) односводчатая — не имеет деления на центральную и боковые платформы. Единый свод подземного зала опирается на боковые стены, в центре зала располагается платформа, к которой с двух сторон прибывают поезда (рис. 2.50). К станциям такого типа относятся «Тимирязевская» в Москве и «Чёрная речка», «Озерки», «Пионерская» в Санкт-Петербурге;

4) горизонтальный лифт (рис. 2.51). Станции такого типа лишены посадочных платформ. По бокам центрального зала располагаются два ряда раздвижных дверей, ведущих в тоннели, где останавливаются прибывающие поезда. Станция проектируется таким образом, чтобы створы дверей вагонов точно совпадали со створами дверей станций, открытие и закрытие которых синхронизируется специальными устройствами. Тип таких станций получил своё название за сходство с дверями лифтов, у которых раздвижные двери кабины открываются синхронно с дверями шахты. Примерами могут служить станции «Московская», «Парк Победы», «Петроградская» в Санкт-Петербурге. В Москве станции такого типа не применяются.

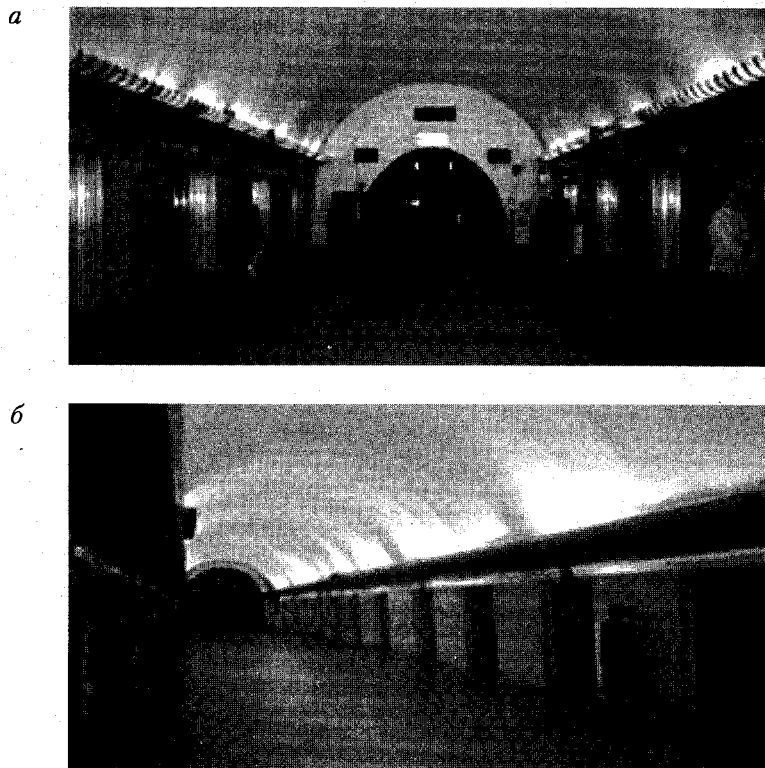


Рис. 2.51 Станции типа «горизонтальный лифт»:
а — «Парк Победы», б — «Звёздная». Санкт-Петербург

Особенное внимание при проектировании линий метрополитена уделяется *пересадочным узлам* (рис. 2.52). Главное условие их планировки — максимальное сокращение времени на пересадку с одной линии на другую.

Существуют несколько планировочных и конструктивных решений пересадочных узлов на линиях глубокого заложения.

1. *Пересадочные узлы с отдельными станциями на каждой линии.*

Это наиболее старый и распространенный вид пересадочного узла, состоящий из отдельных станций, расположенных на разной глубине от поверхности и соединённых переходами с лестницами и эскалаторами (рис. 2.53). В последние годы, например,

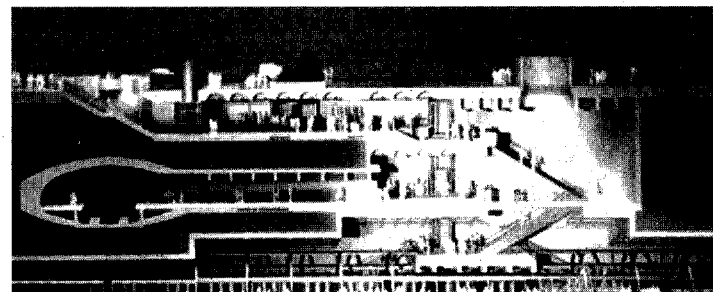


Рис. 2.52. Пересадочный узел на линии «Метеор». Париж

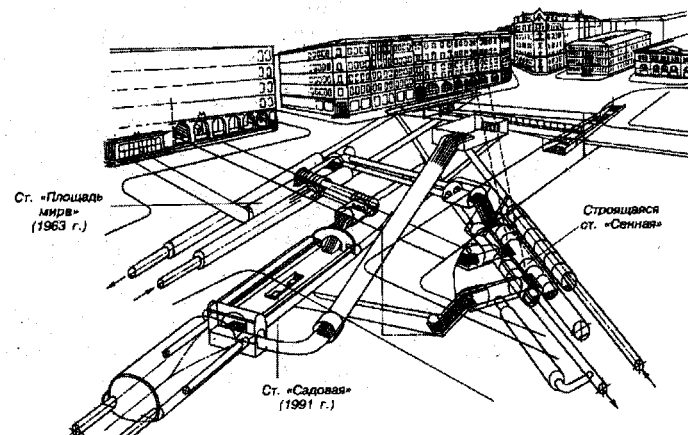


Рис. 2.53. Пересадочный узел под Сенной площадью. Санкт-Петербург

при проектировании Юбилейной линии Лондонского метрополитена, соединительные тоннели оборудуются бегущими дорожками — траволаторами.

В плане отдельные станции пересадочного узла могут располагаться:

— параллельно (рис. 2.54, а);

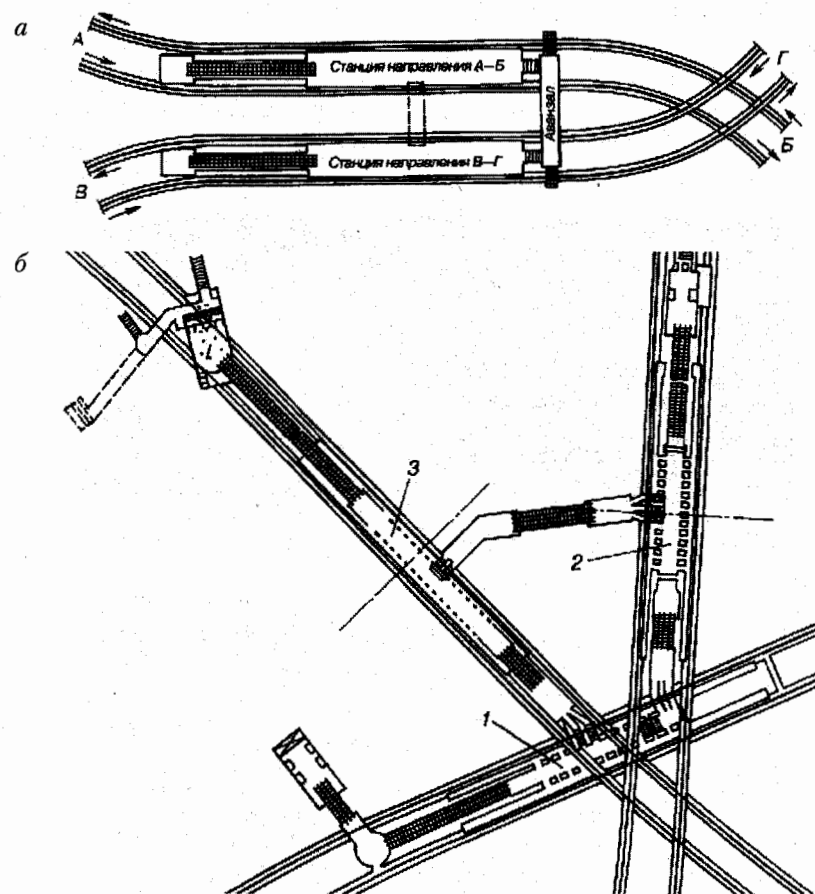


Рис. 2.54. Пересадочный узел из двух параллельных станций на пересечении двух линий (а) и из трёх станций, расположенных веерообразно в разных уровнях (б):

1 — «Таганская» Кольцевой линии, 2 — «Таганская» Таганско—Краснопресненской линии, 3 — «Марксистская» Калининской линии

— Х-образно (при двух станциях);

— веерообразно (рис. 2.54, б);

— треугольником с совмещением движения поездов на двух из них;

— по смешанной схеме (рис. 2.55).

К недостаткам этого типа пересадочных узлов относятся малая комфортабельность, большое количество пересадочных устройств и конструкций, длительное время пересадки, большая площадь горного отвода под строительство.

2. Пересадочные узлы из двух станций с совмещённым движением, расположенных параллельно в одном уровне.

Узлы этого типа считаются наиболее удобными из существующих, т.к. на них пересадка в попутном направлении производится путём перехода поперёк платформы, а в обратном — через переходы в середине и торце станций. К пересадочным узлам этого типа относятся: «Технологический институт» в Санкт-Петербурге (рис. 2.56, а), «Китай-город» (рис. 2.56, б) и «Новокузнецкая» — «Третьяковская» (рис. 2.56, в) в Москве.

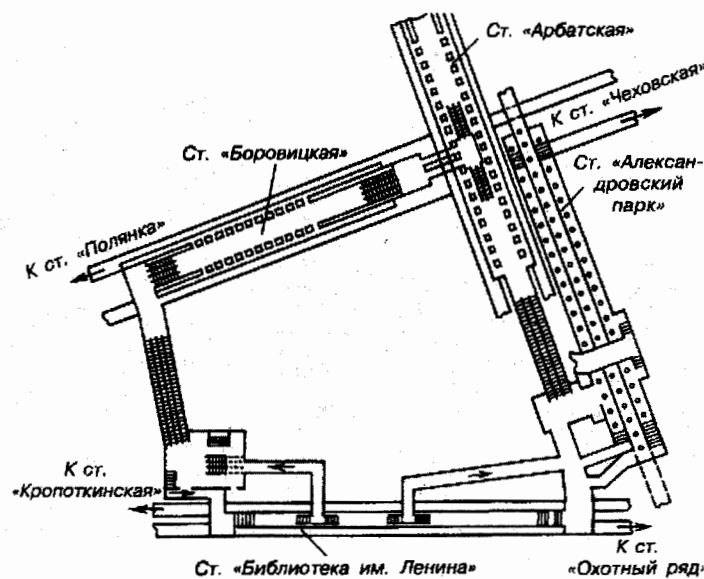


Рис. 2.55. Смешанная схема расположения станций пересадочного узла

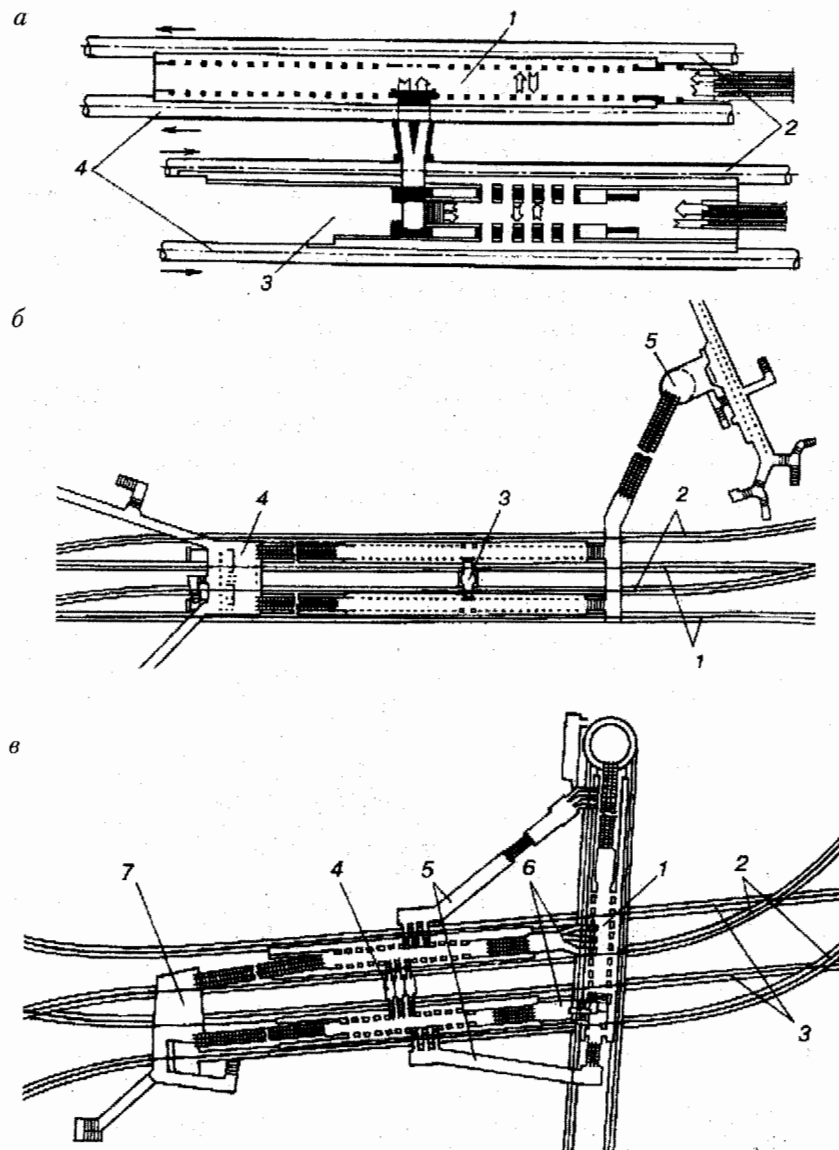


Рис. 2.56. Пересадочные узлы с совмещённым движением поездов на станциях:

а — «Технологический институт» в Санкт-Петербурге, б — «Китай-город», в — «Новокузнецкая» — «Третьяковская» в Москве

К преимуществам такого узла, кроме удобства пересадки, относится сравнительно малая площадь горного отвода.

3. Объединённые пересадочные узлы.

3.1. Объединённый пересадочный узел на две линии в виде пятипролётной станции колонного типа с расположением платформ в одном уровне (рис. 2.57). Пересадка в попутном направлении производится поперёк платформ, а в обратном — через поперечные камеры в торцах станции. К недостаткам конструкции относят сложность строительства и вероятность возникновения значительных просадок дневной поверхности.

3.2. Пересадочный узел на две линии в виде объединённой двухъярусной пересадочной станции из монолитного бетона и железобетона (рис. 2.58). Этот тип станций наиболее характерен для старых линий метрополитена в ряде городов Европы. Для пересадки пассажиров используются лестницы и эскалаторы между ярусами, расположенные вне габаритов основного сечения, а также коридоры между левой и правой частями основного сечения под и над ним. Основным недостатком станции является длительность и неудобство пересадки.

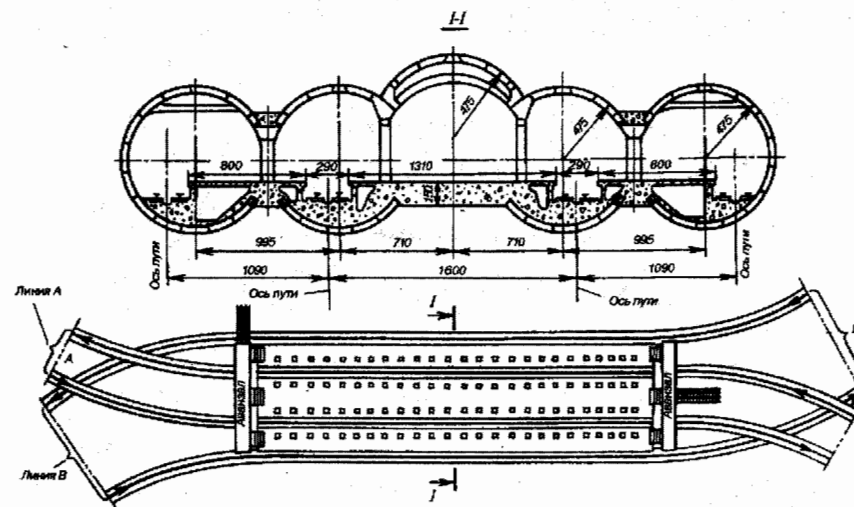


Рис. 2.57. Объединённый пересадочный узел колонного типа на две линии с платформами в одном уровне

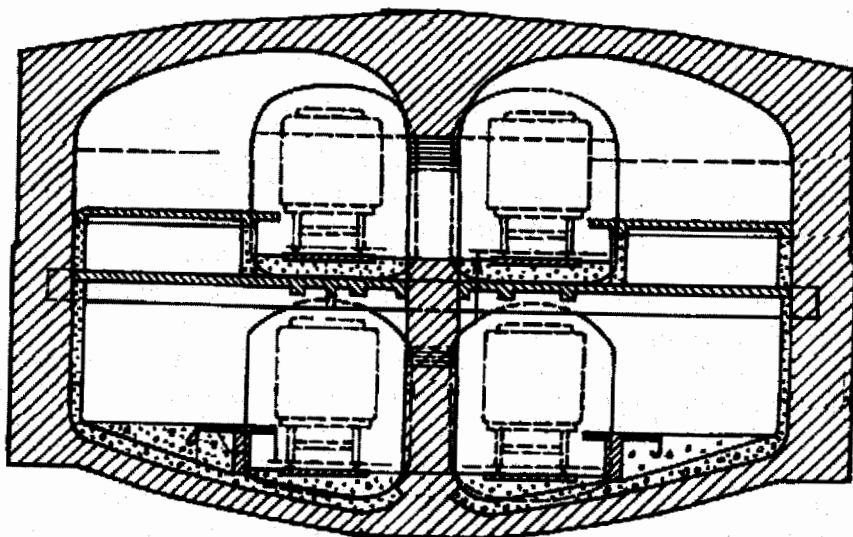


Рис. 2.58. Поперечное сечение пересадочного узла на две линии в виде объединённой двухъярусной пересадочной станции. Париж

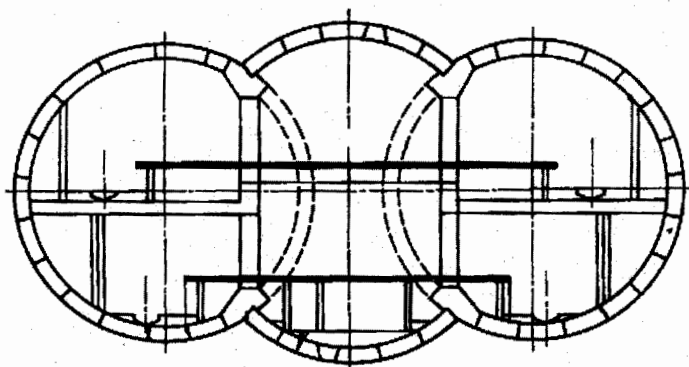


Рис. 2.59. Объединённый пересадочный узел на две линии в виде двухъярусной трёхпролётной колонной станции с островной платформой на каждом ярусе

3.3. Объединённый пересадочный узел на две линии в виде двухъярусной трёхпролётной колонной станции с островной платформой на каждом ярусе (рис. 2.59). В конструктивном решении этот тип пересадочного узла аналогичен колонной стан-

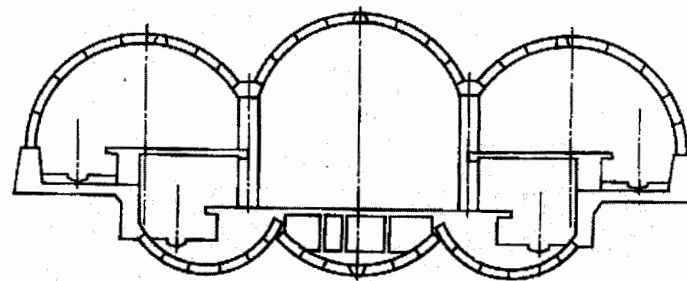


Рис. 2.60. Объединённый пересадочный узел на две линии в виде двухъярусной трёхпролётной колонной станции

ции глубокого заложения с большими размерами поперечного сечения тоннелей. Пересадка пассажиров с яруса на ярус организуется по лестницам и эскалаторам, расположенным в середине среднего зала.

Данный тип пересадочного узла достаточно сложен в исполнении, тем не менее он удобен, компактен и имеет достаточно небольшую площадь горного отвода.

3.4. Объединённый пересадочный узел на две линии в виде двухъярусной трёхпролётной колонной станции с одной островной платформой на нижнем ярусе и двумя боковыми платформами на верхнем (рис. 2.60). Недостатком станции является сложность организации пересадки пассажиров с линии на линию.

3.5. Пересадочный узел объединённого типа на две линии (рис. 2.61). Пересадочные узлы этого типа эксплуатируются в метрополитене Вашингтона и характеризуются тем, что узел обслуживает две пересекающиеся линии, при этом трассы линий не изменяются; станции, входящие в узел, расположены на разных уровнях «вкрест», с пересечением в середине станции. Основным недостаток станций такого типа — достаточно большая площадь горного отвода.

3.6. Объединённый двухъярусный односводчатый пересадочный узел. Схема узла разработана Ленметрогипротрансом [Кулагин, 1996; Коньков, 1999] в двух вариантах:

— со сборным междуэтажным перекрытием (рис. 2.62). Станция представляет собой односводчатую конструкцию, собираемую из железобетонных блоков и двух продольно расположен-

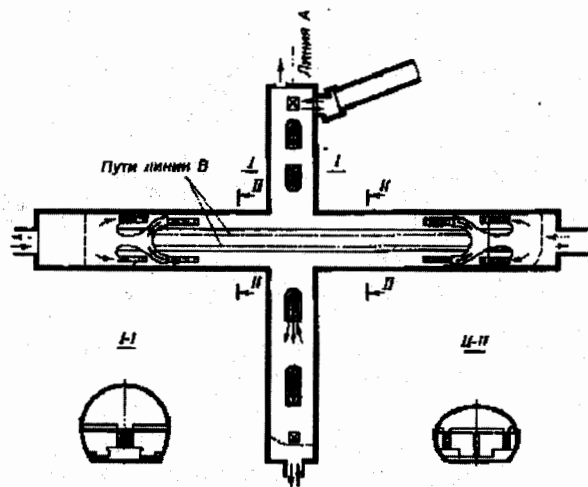


Рис. 2.61. Пересадочный узел объединённого типа на две линии. Вашингтон

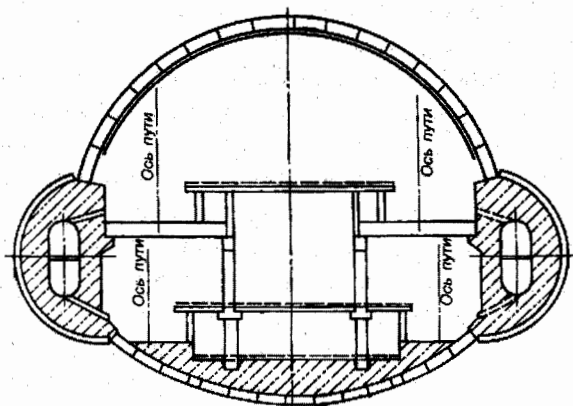


Рис. 2.62. Объединённый двухъярусный односводчатый пересадочный узел со сборным междуэтажным перекрытием

ных колонно-прогонных комплексов. Конструкция и технология возведения пересадочного узла принципиально аналогичны конструкции и технологии сооружения промежуточных односводчатых станций. Весь узел для приёма поездов с обеих линий сооружается одновременно;

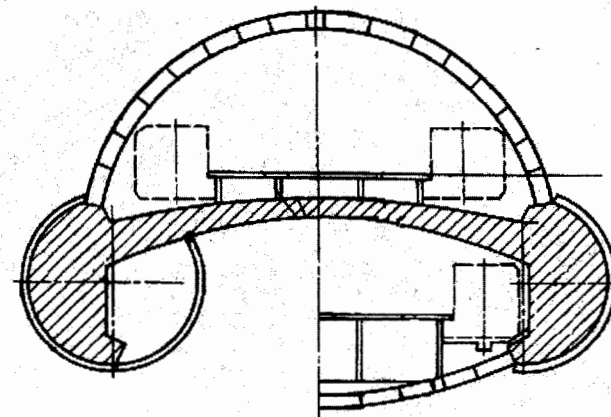


Рис. 2.63. Объединённый двухъярусный односводчатый пересадочный узел с монолитной плитой междуярусного перекрытия

— с монолитной плитой междуярусного перекрытия (рис. 2.63). Станция включает верхний и обратный сборные своды, опирающиеся на монолитные опоры, и плиту междуярусного перекрытия, разделяющую объём конструкции на два яруса. Такая конструкция обеспечивает возможность сооружения станции и пуска её в эксплуатацию в два этапа: сначала верхний ярус, предназначенный для приёма поездов одной линии, затем, при подходе второй линии, сооружается нижний ярус. При этом все работы по сооружению нижнего яруса производятся без прекращения движения поездов по первой линии. Для соединения ярусов и обеспечения пересадки пассажиров предусматриваются междуярусные эскалаторы. Каждый ярус соединяется с поверхностью отдельным эскалаторным тоннелем.

4. Узлы для пересадки между линиями метрополитена и другими видами пассажирского транспорта (рис. 2.64).

Комплексное использование подземного пространства подразумевает объединение пересадочных узлов метрополитена со станциями железной дороги, в том числе пригородными, а также остановками других видов общественного транспорта. В такой комплекс могут входить: станции метрополитена и мини-метро, остановки трамваев, автобусов, других видов общественного транспорта, станция пригородной железной дороги, железнодо-

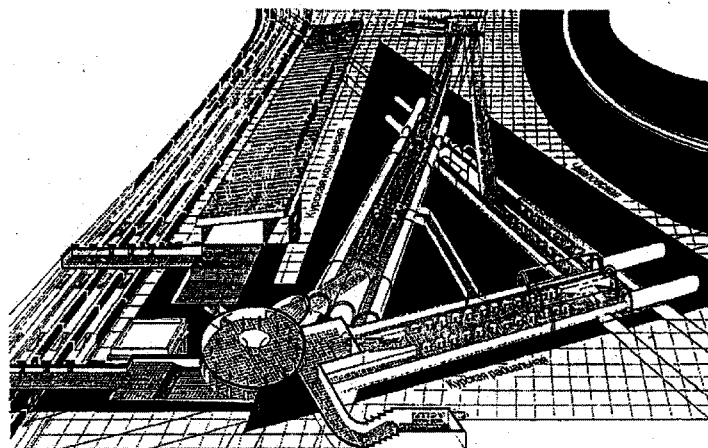


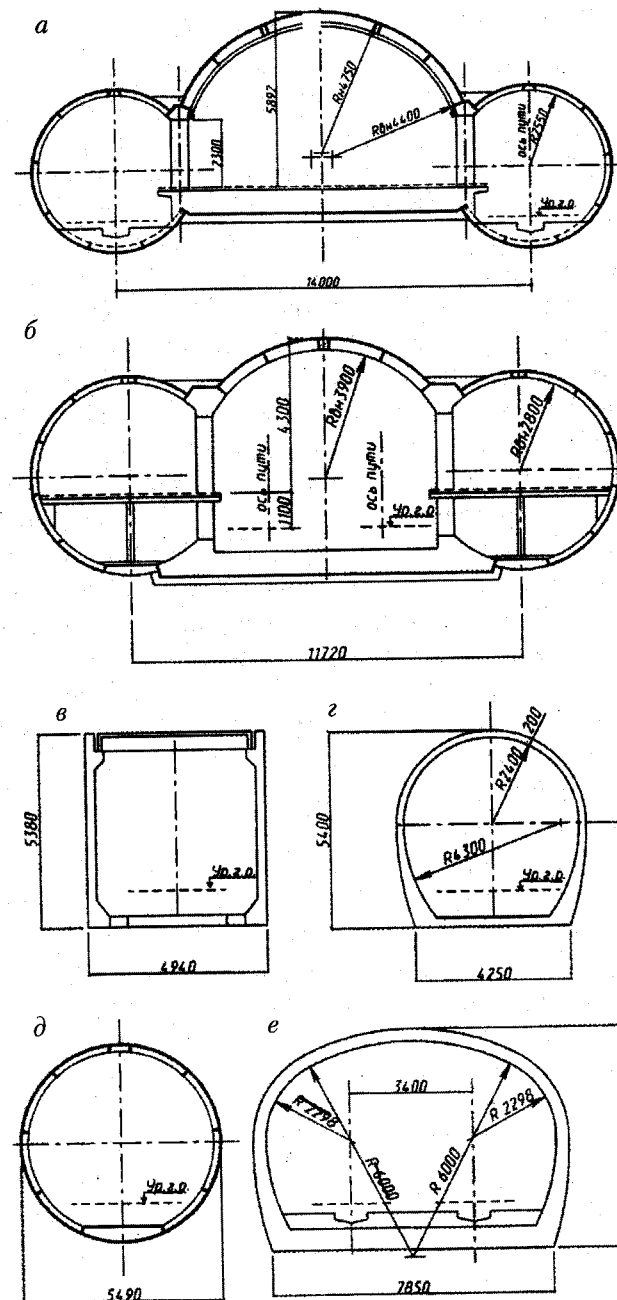
Рис. 2.64. Пересадочный узел между тремя станциями метрополитена и железнодорожными платформами Курского вокзала. Москва

рожный вокзал, автовокзал, автотранспортные тоннели, автостоянки, пешеходные тоннели, пункты общественного питания, магазины и проч.

В настоящее время в Москве в рамках концепции комплексного использования подземного пространства разрабатывается и реализуется на практике проект нескольких линий мини-метро. Для минимизации воздействия на геологическую и историческую среду города, мини-метрополитен проектируется с меньшими габаритами и скоростями сообщения, с короткими перегонами, более низкими провозной способностью и стоимостью строительства по сравнению с обычным метрополитеном. Для этого уменьшен габарит составов и внутренний диаметр тоннелей, применены кривые радиусов поворотов в плане 150 м и более, на станциях, в основном, используются платформы островного типа, рассчитанные на приём шестивагонных составов (рис. 2.65). Длина станций составляет 90 м. Среднее расстояние между станциями мини-метро равно 937 м, минимальное — 506 м, максимальное — 1211 м [Лубоцкий, 2001]. На некоторых участках предусмотрено движение поездов мини-метро по действующим линиям метрополитена без нарушения основного режима работы метрополитена.

Рис. 2.65. Габариты тоннелей и станций мини-метрополитена:

а — трёхсводчатая станция с островной платформой, *б* — трёхсводчатая станция с боковыми платформами, *в* — однопутный перегонный тоннель из сборных железобетонных элементов, *г* — однопутный перегонный тоннель подковообразного очертания, *д* — однопутный перегонный тоннель из чугунных тубингов с плоским лотком, *е* — двухпутный перегонный тоннель подковообразного очертания



2.2.6. Тоннели горного типа

Строительство транспортных коммуникаций в горной местности сопряжено с необходимостью пересечения глубоких ущелий, водоразделов, горных хребтов и других препятствий, что требует устройства различных искусственных сооружений. В зависимости от высоты препятствия, его конфигурации и размеров в плане, места расположения, крутизны склонов, климатических, инженерно-геологических, экономических и экологических условий существуют несколько возможных решений.

Один из возможных вариантов — обход препятствия в плане — приводит к удлинению и усложнению трассы дороги, значительная часть которой будет располагаться на кривой в плане. Другое решение — перевальная дорога — пересечение препятствия по верху с устройством открытой выемки. Этот вариант может применяться при достаточно спокойном горным рельефе и небольшой высоте пересекаемого препятствия. В высокогорных условиях прокладка перевальной дороги сопровождается пересечением крутых откосов, оползневых зон и ущелий. Для этого устраиваются высокие насыпи, подпорные стены, виадуки, полумосты, балконы, глубокие выемки, снегозащитные и противообвальные галереи и т.п. Таким образом, значительно повышается стоимость эксплуатации дороги, возникает необходимость прекращения движения при опасности снежных заносов, лавин, селей и проч.

Транспортные тоннели горного типа используются для преодоления трассой высотных препятствий (гор, холмов, других возвышенностей). Они позволяют пересечь это препятствие по кратчайшему пути, расположить трассу дороги на прямой в плане и обеспечить благоприятные условия движения транспорта.

Тоннельные пересечения на транспортных путях, проектируемых в горной местности, наиболее целесообразны в следующих случаях:

- обход контурных и преодоление высотных препятствий;
- трассирование линии в условиях, когда допустимые радиусы кривых в плане не позволяют вписаться в существующие формы рельефа;

- искусственное развитие линии;

обеспечение расчётной длины трассы на участке преодоления значительного высотного препятствия.

Тоннельные пересечения на транспортных коммуникациях должны обеспечивать:

- безопасный и бесперебойный пропуск транспортных средств (поездов, автомобилей и проч.) с заданными осевыми нагрузками и скоростями;

- требуемую пропускную способность.

Первый международный конгресс по тоннелестроению, прошедший в 1912 году в Цюрихе, рекомендовал при строительстве двухпутных железных дорог отдавать предпочтение двухпутному тоннелю перед двумя однопутными. Вся дальнейшая мировая практика транспортного тоннелестроения базировалась на этой концепции, чем и объясняется сохранившийся до настоящего времени приоритет транспортных тоннелей в двухпутном исполнении.

В некоторых случаях возможно устройство одного однопутного тоннеля. Это, с одной стороны, позволяет существенно снизить капиталовложения и ускорить ввод тоннеля в эксплуатацию, но при этом, для обеспечения необходимой пропускной способности, требуется устройство разъездов и сложной системы регулирования движения.

Горные тоннели подразделяются на:

- вершинные* (рис. 2.66, а), имеющие минимальные длину и строительную стоимость с использованием более протяжённых подходов, в основном, при небольшой интенсивности движения;

- базисные, или подошвенные* (рис. 2.66, а), имеющие более низкую стоимость эксплуатации; используются при значительной грузонапряжённости трассы; вершинные и базисные тоннели могут называться перевальными;

- петлевые* (рис. 2.66, б), расположенные на кривой при угле поворота порядка 180° , и спиральные (рис. 2.66, в), при угле поворота 360° , — используются для быстрого набора высоты внутри горного массива;

- мысовые* (рис. 2.66, г), сокращающие трассу дороги, пересекающей косогоры.

Выбор месторасположения тоннеля горного типа зависит от характера расположения дорог и магистралей на подходных участках, степени устойчивости откосов и склонов высотного препят-

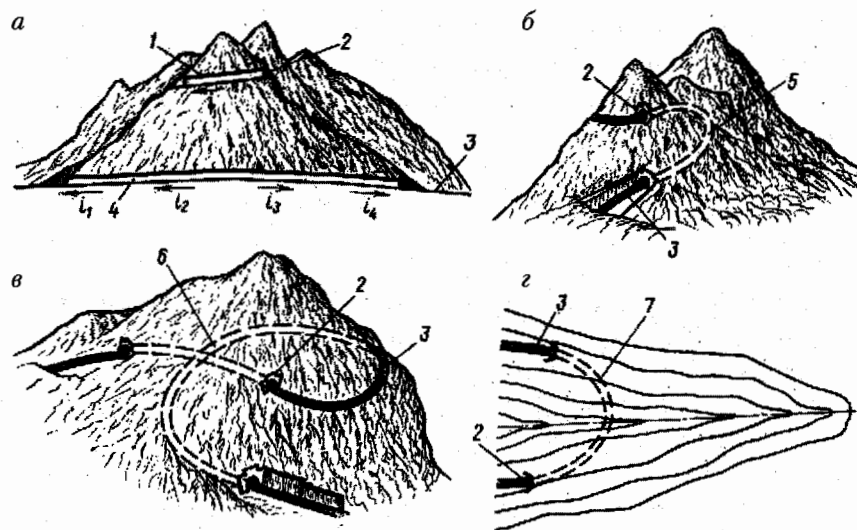


Рис. 2.66. Виды горных тоннелей:

1 — вершинный тоннель, 2 — портал, 3 — дорога, 4 — базисный тоннель, 5 — петлевой тоннель, 6 — спиральный тоннель, 7 — мысовый тоннель

ствия, инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории, стоимости строительства и эксплуатации данного участка.

Высотное положение мысовых тоннелей определяется продольным профилем трассы на подходах. Высота расположения петлевых и спиральных тоннелей, обеспечивающих искусственное развитие линии, диктуется условиями рельефа. Значительно более сложной задачей является определение высотного положения перевального тоннеля, который может быть как вершинным, так и базисным. В этом случае необходимо учитывать следующие основные факторы:

1) тоннель должен «вписываться» в план и продольный профиль трассы, обеспечивая единую плавную пространственную линию на всём перевальном участке дороги;

2) характер склонов пересекаемого горного массива: сравнительно небольшие смещения базисного тоннеля могут значительно сократить его длину и, наоборот, снижение отметки вершинного тоннеля может практически не отразиться на его длине;

- 3) возможность естественного проветривания тоннеля;
- 4) инженерно-геологические условия;
- 5) гидрометеорологические условия.

Окончательный выбор высотного положения перевального тоннеля определяется технико-экономическим расчётом.

Характерным примером выбора высотного положения является обоснование пересечения Северо-Муйского хребта Байкало-Амурской магистралью. Хребет расположен между оз. Байкал и бассейном р. Витим. Тяжёлые инженерно-геологические условия, обусловленные вечной мерзлотой и наличием многочисленных зон тектонических разломов, сложные для трассирования подходы к седловине, вызванные большой крутизной склонов, осыпями и камнепадами, высокая сейсмичность района (более 9 баллов по шкале Рихтера) в совокупности привели к необходимости проработки около 30 вариантов пересечения хребта.

При проектировании тоннеля Бампроектом в 1942 году, по данным предварительных изысканий 1936/37 годов, был принят вариант пересечения хребта в самом низком участке Ангараканского седла. Позднее, в 1970 году, на этом участке были проведены дополнительные инженерно-геологические изыскания, по результатам которых были разработаны 18 вариантов трассы с тоннельным пересечением (рис. 2.67) и принят вариант пересечения Северо-Муйского хребта базисным тоннелем длиной 15,3 км. Однако до начала строительства, для обоснования длины тоннеля

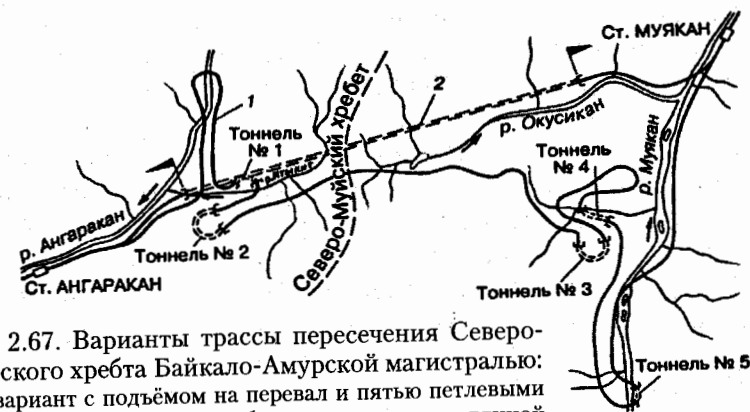


Рис. 2.67. Варианты трассы пересечения Северо-Муйского хребта Байкало-Амурской магистралью: 1 — вариант с подъёмом на перевал и пятью петлевыми тоннелями, 2 — вариант с базисным тоннелем длиной 15,3 км

ля по выбранному направлению трассы, были рассмотрены ещё 11 вариантов перевальных тоннелей протяжённостью от 7,8 км до 12,2 км. В итоге был принят вариант перевального участка с базисным тоннелем длиной 15,3 км, как наиболее полно отвечающий требованиям к эксплуатационным показателям проектируемой линии, а также надёжности и безопасности перевозок в условиях высокой сейсмичности.

Сеть мысовых тоннелей построена на Крутобайкальской железной дороге — одном из наиболее сложных участков Транссибирской магистрали. Западное побережье Байкала представляет собой скалистую гряду высотой до 400 м над уровнем озера. Извилистая береговая линия разделена на бухты высокими скалистыми мысами. На участке побережья протяжённостью менее 100 км были выстроены 39 двухпутных мысовых тоннелей общей протяжённостью 7283,2 м. При строительстве участка Байкало-Амурской магистрали, проходящего по северному побережью Байкала, были сооружены 4 двухпутных мысовых тоннеля общей протяжённостью 5100 м.

Расположение трассы тоннеля в плане проектируется целиком или частично на прямых или криволинейных участках. Искривление трассы в плане обусловлено условиями плавного сопряжения трассы с магистралями, необходимостью обойти нарушенную зону в массиве горных пород и сохранением существующей застройки.

При расположении тоннелей, особенно железнодорожных, на кривых увеличивается габарит приближения строений и, следовательно, площадь поперечного сечения тоннеля.

Криволинейные в плане тоннели стараются располагать на кривой одного радиуса или на кривых, близких по значению радиусов, что позволяет использовать однотипное оборудование для возведения монолитной бетонной обделки. Радиусы кривых в железнодорожных тоннелях должны быть не менее 600 м, автодорожных — 250 м. При соответствующем технико-экономическом обосновании, в особо сложных условиях, допускаются радиусы кривых 400 и 150 м соответственно.

Продольный профиль тоннеля, в зависимости от его назначения и условий трассировки, может проектироваться одно- или двухскатным. Односкатный профиль рекомендуется устраивать

при длине тоннеля менее 400 м. Профиль тоннеля стараются не проектировать горизонтальным, т.к. при этом возникают неблагоприятные условия продольного водоотвода. Минимальный уклон продольного профиля должен составлять 3 ‰. В пределах разделительных элементов допускается принимать величину минимального уклона 2 ‰. Горизонтальная разделительная площадка между участками с уклонами разных знаков не должна превышать 400 м [СНиП 32-04-97].

Места расположения порталов при проектировании тоннелей горного типа определяются хорошими условиями видимости при въезде, конфигурацией рельефа и геологическим строением склонов. От глубины предпортальной выемки h зависит прочность и устойчивость портала и связанного с ним предпортального звена обделки, а также окончательная длина тоннеля L (рис. 2.68). В целом, определение рациональной глубины предпортальной выемки производится на основе технико-экономического сопоставления вариантов. На предварительных этапах проектирования можно воспользоваться следующими рекомендациями, выработанными практикой строительства: в слабых глинистых грунтах глубина выемки у порталов не должна превышать 12–15 м, в скальных породах — 20 м [Копыленко, Цыпин, 1999].

Тоннели горного типа сооружаются, в большинстве случаев, закрытым способом и имеют сводчатое или круговое очертания. Размеры и форма поперечного сечения определяются местом расположения тоннеля и интенсивностью движения транспорта. Габарит приближения строений должен обеспечивать свободное пространство, достаточное для пропуска транспортных средств, прохода людей, размещения устройств и оборудования.

Рис. 2.68. Зависимость длины тоннеля L от глубины предпортальной выемки h :

1 — тоннель, 2 — предпортальная выемка

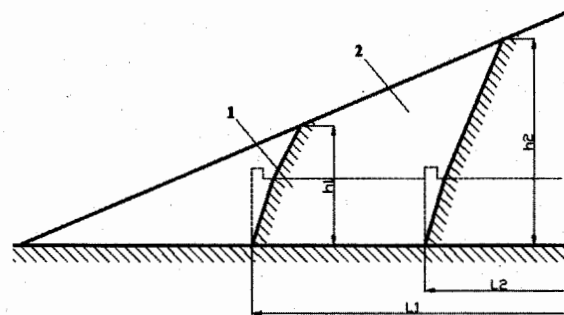




Рис. 2.69. Южный портал Мацестинского автодорожного тоннеля [Луговок, Болыкин, 2001]

Для бесперебойного обеспечения находящихся в тоннеле людей свежим воздухом и организации нормальных условий труда обслуживающего персонала устраивается система вентиляции, уменьшающая влажность в тоннеле, снижающая концентрацию вредных примесей, выделяемых транспортными средствами, до допустимых пределов, поддерживающая температуру воздуха на уровне, соответствующем санитарно-техническим нормам.

В декабре 2000 года сдан в эксплуатацию Мацестинский автодорожный тоннель длиной 1316 м, пересекающий водораздел между реками Мацеста и Агура и входящий в состав реконструируемой дороги Джубга-Сочи (рис. 2.69).

Автодорожный тоннель состоит из собственно тоннеля, по которому осуществляется движение автотранспорта, и дренажной штольни, используемой для обслуживания тоннеля на период эксплуатации, а также для эвакуации людей из тоннеля в случае пожара и других аварийных ситуаций (рис. 2.70).

Проходка тоннелей велась одновременно из трёх забоев: со стороны Северного и Южного порталов и дренажной штольни. Разработка забоя со стороны Северного портала велась проходческим комбайном с рабочим органом избирательного действия, со стороны Южного портала — буровзрывным способом. Дренажная

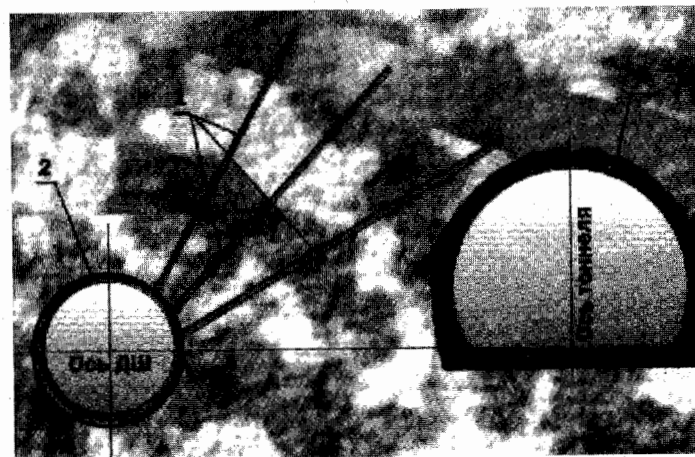


Рис. 2.70. Схема расположения основного тоннеля и дренажной штольни
1 — дренажные скважины, 2 — дренажная штольня, 3 — основной тоннель

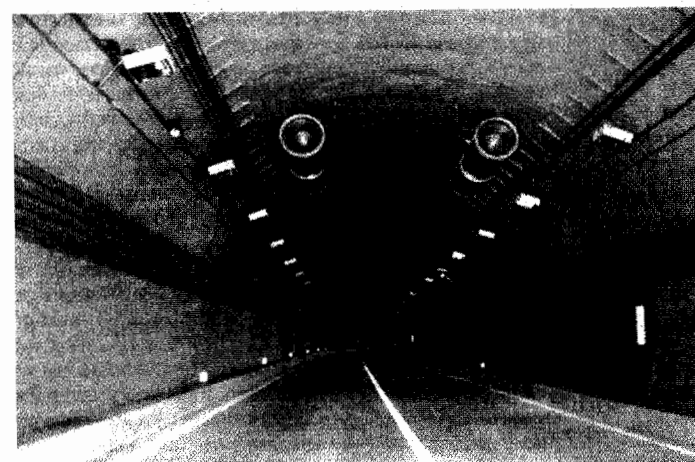


Рис. 2.71. Внутреннее оформление Мацестинского автодорожного тоннеля

штольня проходила щитовым комплексом с одновременным возведением постоянной обделки из железобетонных блоков.

Для обеспечения нормальной и безопасной эксплуатации тоннель оборудован автоматизированными системами управления, вентиляции, освещения и теленаблюдения (рис. 2.71).

2.2.7. Подводные тоннели

Подводные тоннели могут использоваться при создании постоянно действующей транспортной связи через водное препятствие (реку, канал, озеро, водохранилище). Они наилучшим образом соответствуют условию обеспечения бесперебойного движения транспорта на обеих пересекающихся магистралях (наземной и водной) и обладают следующими преимуществами перед мостами:

- не нарушают бытового режима водотока;
- не препятствуют судоходству, полностью сохраняя существующий характер акватории;
- защищают транспортные средства от неблагоприятных атмосферных воздействий;
- обеспечивают бесперебойное и круглогодичное движение транспорта на участке пересечения водотока;
- сохраняют местоположение береговых сооружений и устройств, сводят к минимуму число зданий и сооружений, подлежащих сносу на подходах к пересечению;
- практически не нарушают архитектурный ансамбль города.

Технико-экономическое сравнение мостового и тоннельного перехода показывает, что подводный тоннель имеет более высокую стоимость строительства, однако эксплуатационные расходы на содержание мостов, особенно низководных, значительно выше, чем тоннелей [Копыленко, Цытин, 1999].

В целом, подводные тоннели наиболее часто используются в следующих топографических и инженерно-геологических условиях:

- широкий водоток с плоскими, низкими, нередко застроенными берегами;
- ложе водотока образовано толщей слабых грунтов, распространяющихся на достаточно большую глубину, в их основании лежат более прочные грунты;
- движение наземного или водного транспорта на участке пересечения характеризуется высокой интенсивностью и постоянством в течение суток.

Кроме того, предпочтение тоннельному варианту отдают при наличии паводков и мощных ледоходов, проходящих при высо-

ких уровнях воды, неустойчивости русла, а также по требованиям градостроительного характера.

В зависимости от расположения относительно дна водотока различают (рис. 2.72):

- подводные тоннели, целиком заглублённые в грунтовой массив;
- тоннели на дамбах или отдельных опорах;
- «плавающие» тоннели, заанкеренные тросовыми оттяжками в русловое ложе.

Подводные тоннели на дамбах, тоннели-мосты и «плавающие» тоннели эффективны при пересечении глубоких водных преград. При их использовании сокращается длина перехода, улучшаются эксплуатационные показатели трассы.

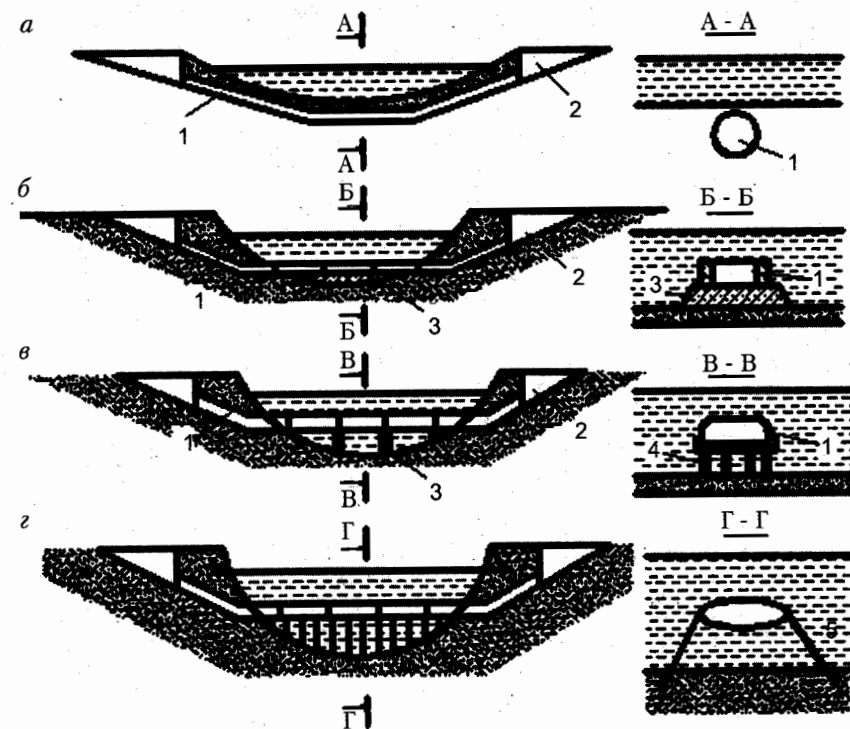


Рис. 2.72. Типы подводных тоннелей:

а — заглублённый в дно, б — на дамбе, в — на опорах, з — «плавающий» тоннель;
1 — закрытая часть, 2 — ramпы, 3 — дамба, 4 — опоры, 5 — тросовые оттяжки

Выбор в городской черте месторасположения подводного тоннеля определяется характером планировки и застройки городских участков, топографическими условиями местности и способом строительства. Обычно тоннельное пересечение стараются располагать перпендикулярно оси водотока, что позволяет уменьшить длину сооружения и упростить его возведение и эксплуатацию. В условиях плотной застройки берегов возможно устройство косо́го пересечения водной преграды.

Подводный тоннель может располагаться как на прямой, так и на криволинейной в плане трассе. Искривление в плане трассы тоннеля вызвано необходимостью огибания препятствий: зон размыва, островов, искусственных подводных сооружений; либо, наоборот, стремлением подхода к острову для устройства вентиляционных шахт или раскрытия дополнительных забоев.

Наиболее характерны, кроме прямолинейных, следующие варианты расположения подводного тоннеля в плане:

для размещения руслового участка на прямой, в пределах береговых участков, трассу тоннеля располагают на кривых (рис. 2.73, а);

подходные береговые участки подводного тоннеля попадают на разные стороны поворота, поэтому ось тоннеля в плане располагают на кривой (рис. 2.73, б);

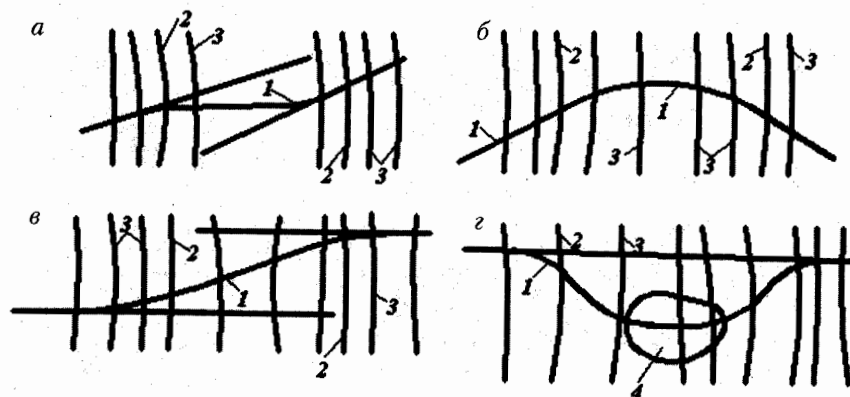


Рис. 2.73. Характерные случаи криволинейной в плане трассы подводных тоннелей

1 — ось перехода, 2 — линии берегов, 3 — горизонтали рельефа, 4 — остров

из-за несовпадения осей подводных участков на обоих берегах водотока, криволинейные участки пути располагают вблизи урезов воды, а весь тоннель имеет в плане вытянутую S-образную форму (рис. 2.73, в);

для организации промежуточной стройплощадки, связанной с изменением способа строительства или, при необходимости, устройства вентиляционной шахты, используются естественные или искусственные острова в русле водотока, что допускает искривление трассы тоннеля в плане (рис. 2.73, г).

В любом случае необходимо соблюдать нормативные требования к элементам криволинейных участков дороги и их взаимному сопряжению.

Продольный профиль тоннеля (рис. 2.74) может проектироваться двускатным вогнутого очертания, с плоским нижним разделительным участком, либо, при значительной протяжённости сооружения, разделительный участок заменяют двумя элементами продольного профиля с уклонами, направленными от середины тоннеля к берегам водотока. В местах намечаемого сопряжения уклонов, при их большой алгебраической разности, назначают элементы переходной крутизны, обеспечивающие выполнение нормативных требований к продольному профилю. В особо длинных подводных тоннелях может проектироваться более сложная полигональная или многоскатная форма продольного профиля, диктуемая отметками дна по трассе тоннеля и условиями обеспечения минимальных глубин заложения.

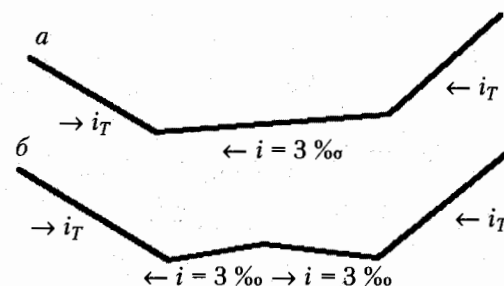


Рис. 2.74. Варианты продольного профиля подрусловой части подводного тоннеля:

а — односкатный, б — двускатный

При проектировании продольного профиля подводного тоннеля большое внимание уделяется правильному назначению глубины заложения верха тоннеля относительно дна водотока или водоёма, которая назначается в зависимости от способа строительства и свойств грунтов руслового ложа.

Если подводная часть сооружается щитовым способом под сжатым воздухом, то, во избежание его прорыва, минимальную глубину заложения относительно линии возможных размывов назначают в зависимости от свойств грунтов, слагающих русловое ложе: 4–6 м в плотных глинистых грунтах, 8–10 м в слабых несвязных грунтах. Уменьшение толщины защитной кровли может достигаться устройством по дну водоёма, непосредственно над сооружением, защитного глиняного тюфяка толщиной 2–3 м и шириной 3–4 диаметра тоннеля.

При строительстве подрусовой части методом опускных секций глубина заложения тоннеля назначается не менее: 2,5–3 м в слабых несвязных грунтах и 1,5–2 м в плотных глинистых грунтах.

Места переломов продольного профиля стараются совмещать со стыками секций. Это облегчает конструкцию самих секций и устройство под неё основания.

Характерным примером является железнодорожный тоннель протяжённостью 5,8 км под заливом Сан-Франциско (рис. 2.75). Необходимость обхода сейсмоопасных участков в заливе и полигональная форма продольного профиля привели к искривлению продольной оси сооружения в горизонтальной и вертикальной

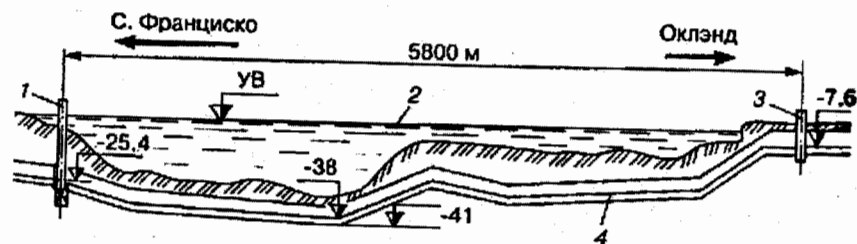


Рис. 2.75. Железнодорожный тоннель под заливом Сан-Франциско: 1 — вентиляционное здание на кессоном фундаменте, 2 — средний уровень моря, 3 — вентиляционное здание, возведённое в открытом котловане, 4 — уровень головки рельса

плоскостях. В результате этого из 57 секций тоннеля 15 имеют криволинейное очертание в плане и 4 — в профиле. Две секции представляют собой отрезки спирали, криволинейные в обеих плоскостях.

Форма поперечного сечения подрусовой части определяется способом проходки и, в большинстве случаев, при применении щитового способа или способа опускных секций имеет круговое или прямоугольное очертание.

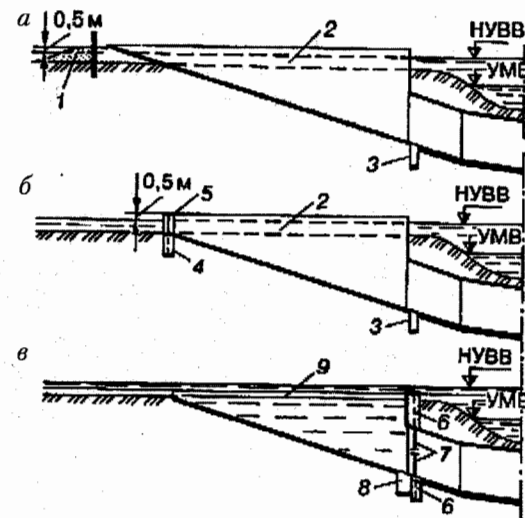
Глубина воды над тоннелем должна быть достаточной для судоходства.

Для борьбы с водой, появляющейся в эксплуатируемом сооружении, в самом низком месте тоннеля устраивают водоприёмник и размещают в нём насосную станцию небольшой мощности. Она используется для удаления сравнительно небольших объёмов воды, собирающейся в закрытой части тоннеля. В нижней части открытых рамп устраивают высокопроизводительные дренажные откачки для перехвата и удаления дождевых вод. Кроме этого, для предотвращения затопления подводного тоннеля предусматривают различные конструктивные решения (рис. 2.76).

Подводный коммуникационный тоннель в Свеаборге (Финляндия), построенный в 1980 году, имеет общую протяжённость

Рис. 2.76. Конструктивные решения защиты подводного тоннеля от затопления:

а — рампа подката на насыпь выше уровня затопления, б — герметический затвор на въезде в рампу, в — затвор на стыке рампы и закрытой части; 1 — насыпь перед въездом в рампу, 2 — водонепроницаемое ограждение по контуру, 3 — дождевой водосборник, 4 — камера рампового затвора, 5, 7 — затворы, 6 — камера притоннельного затвора, 8 — водоприёмник, 9 — парапет



1265 м, площадь поперечного сечения около 13 м^2 . В тоннеле проложены тепло- и водопровод и электрические кабели (рис. 2.77). Части потолка и стен тоннеля покрыты набрызгбетоном. В самой низкой точке установлен насос для откачки дренажных вод.

В Норвегии запроектирован первый в мире автомобильный плавающий тоннель диаметром 20 м и протяжённостью 1440 м, заанкеренный в грунт (рис. 2.78). В тоннеле предполагается разместить двухполосную проезжую часть, пешеходную и велосипедную дорожки. В нижней части будет размещён балласт и инспекционный проход.

В 2001 году в Москве, в составе транспортной развязки на пересечении Волоколамского шоссе с ул. Свободы, введён в эксплуатацию уникальный тоннель под каналом им. Москвы

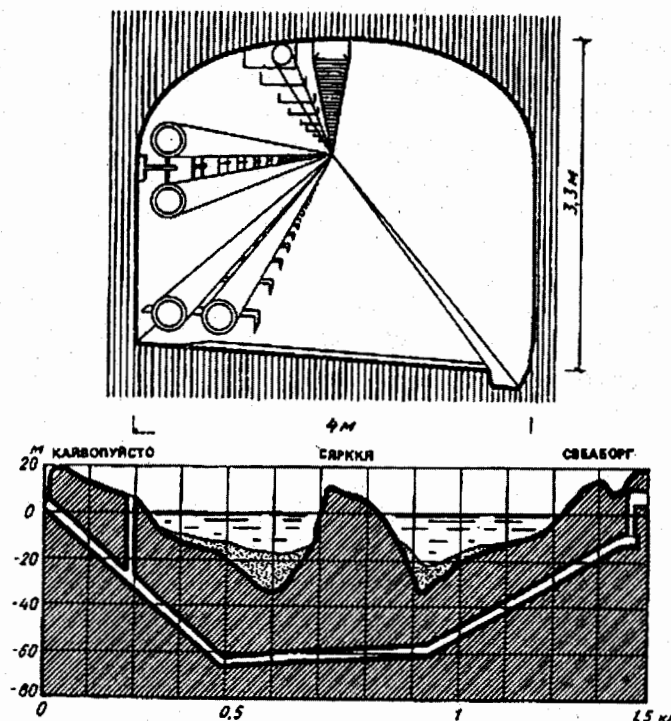


Рис. 2.77. Поперечный и продольный разрезы туннеля. Свеаборг. Финляндия

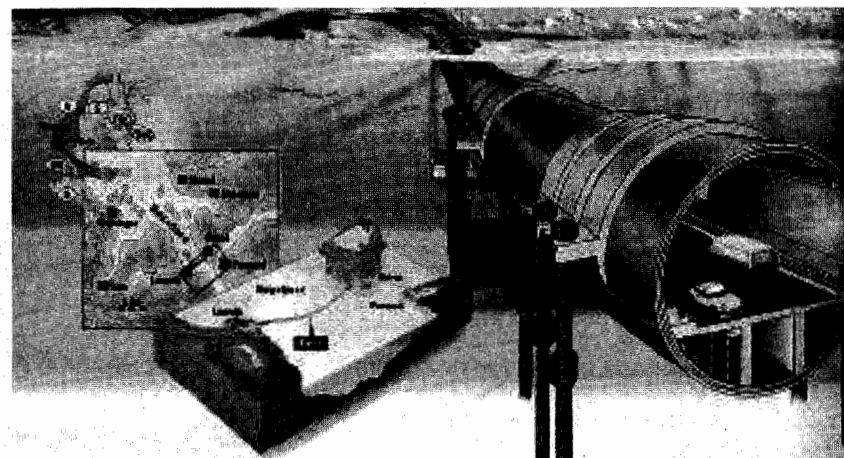


Рис. 2.78. Плавающий тоннель. Норвегия

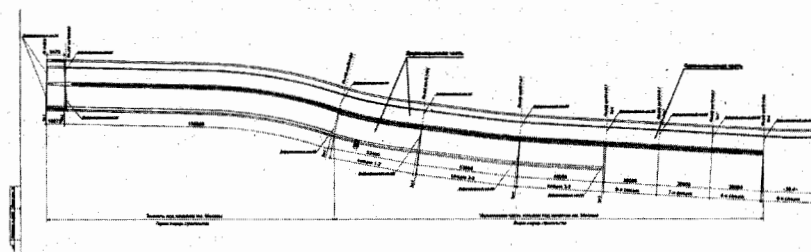


Рис. 2.79. План трассы тоннеля под каналом им. Москвы

(рис. 2.79). В составе общего комплекса строительно-монтажных работ был выполнен перенос большого числа подземных коммуникаций и устройство коллекторов, разборка существующих и возведение новых гидротехнических сооружений канала, реконструкция существующих тоннелей под каналом. Трасса тоннеля состоит из двух участков: первый длиной около 160 м, возведённый как единая монолитная железобетонная конструкция без промежуточных деформационных швов. Второй участок, протяжённостью около 240 м, состоит из девяти секций, разделённых промежуточными деформационными швами. В поперечном сечении тоннель представляет собой двухсекционную коробку с размерами $7,9 \times 28,7 \text{ м}$, предназначенную для пропуска пяти полос движения (рис. 2.80).

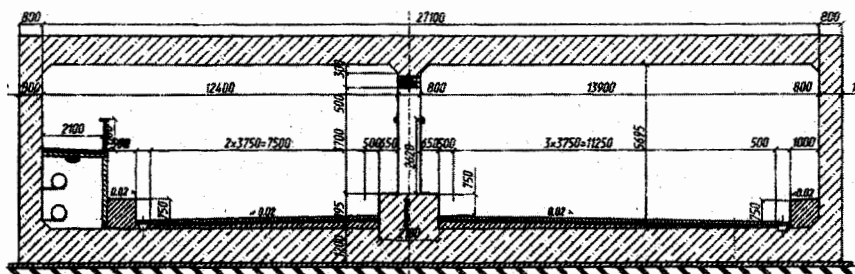


Рис. 2.80. Поперечное сечение тоннеля под каналом им. Москвы

2.2.8. Подземные гаражи и автостоянки

Подземные гаражи и автостоянки предназначены для хранения, технического обслуживания и ремонта легковых, грузовых и специальных автомобилей и других транспортных средств*.

Существуют различные типы подземных автостоянок, отличающиеся назначением, местом расположения, глубиной заложения, вместимостью, планировочными схемами, числом ярусов, конструктивными особенностями и т.д. Выбор конкретного типа определяется градостроительными, транспортными и экономическими условиями.

Подземные автостоянки, предназначенные для постоянного хранения автотранспорта, допускается располагать под жилыми и общественными зданиями, участками зелёных насаждений, спортивными сооружениями, под хозяйственными и игровыми площадками (кроме детских), под проездами, наземными автостоянками, школьными участками (при размещении въездов—выездов и вентиляционных киосков за пределами школьных участков), в местах жилой застройки, а также в виде отдельно расположенных сооружений (рис. 2.81). Наряду с подземными возможно строительство полуподземных автостоянок, верх которых располагается на 0,5—0,6 м выше поверхности земли.

*Автомобильные стоянки предназначены для временного хранения транспортных средств, а гаражи — для постоянного хранения и технического обслуживания. В дальнейшем изложении подземные гаражи и автомобильные стоянки будут определяться одним термином — *подземная автостоянка*.

В некоторых случаях проектируются подземные автостоянки тоннельного типа, представляющие собой отрезки тоннелей длиной 150—200 м, сооружаемые закрытым способом. Такие автостоянки устраиваются с использованием естественного рельефа местности (холмов и возвышенностей), что упрощает устройство подъездных путей, сокращает объёмы земляных работ и снижает стоимость строительства.

По способу установки автомобилей различают автостоянки:

- манежного типа с открытыми стоянками;
 - боксовые с изолированными местами стоянок;
 - комбинированные — часть стоянок в таких гаражах откры-
- я, а часть — изолированная.

В подземных гаражах и автостоянках могут применяться одно- или двухсторонние схемы расстановки автомобилей. При постоянном хранении предпочтение отдают двухсторонней однорядной схеме с установкой транспортных средств перпендикулярно к оси проезда. При временном хранении возможны «ёлочная» и «паркетная» расстановки, облегчающие въезд и выезд автомобилей, но увеличивающие общую площадь стояночных мест и длину проездов. Ширина стояночного места для одного автомобиля составляет $2,2 \div 2,5$ м, длина — $4,6 \div 5,3$ м. Общая площадь одного стояночного места, с учётом проезда, составляет $20 \div 28,5 \text{ м}^2$ для легковых автомобилей и до 60 м^2 — для грузовых. Ширина проезда, при однорядной расстановке, должна быть не менее 3 м, при двухрядной — $5 \div 7$ м. Проезды располагают таким образом, чтобы обеспечить в гараже правостороннее движение.

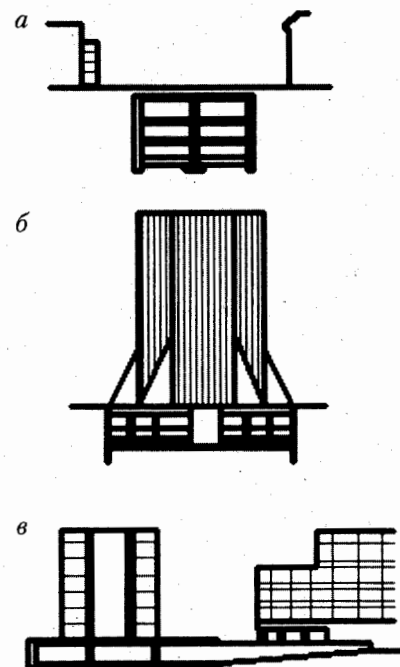


Рис. 2.81. Подземные (а, б) и полуподземные (в) автостоянки

Подземные гаражи и автостоянки могут быть как одно-, так и многоярусными. В центральных районах крупных городов устраивают многоярусные подземные автостоянки вместимостью 450 ÷ 1200 и более автомобилей. Например, вблизи ВВЦ построен первый в нашей стране отдельно стоящий семиярусный подземный гараж, рассчитанный на 2000 легковых автомобилей. В экспериментальном жилом районе Северное Чертаново сооружена серия встроенных подземных гаражей общей вместимостью 3000 машиномест. Под Оперным театром в Сиднее выстроена двенадцатиярусная подземная автостоянка на 1100 парковочных мест. Сооружение представляет собой торообразную камеру высотой 32 м, наружным диаметром 71,2 м, а внутренним — 36,4 м. Стоянка находится на 28 м ниже уровня моря.

По способу въезда автомобиля и перемещения с яруса на ярус различают стоянки нескольких видов.

Рамповые — въезд и выезд автомобилей и их перемещение с яруса на ярус производятся по прямым или спиральным рампам*. Прямые наружные ramпы (рис. 2.82, а) могут иметь уклон до 100 %, внутренние — до 180 % и ширину до 3 м для одностороннего, 5,5–6 м — для двухстороннего движения. Спиральные ramпы (рис. 2.82, б) выполняются с уклоном до 100 % вне гаража и до 130 % — внутри. В некоторых случаях для переезда автомобилей с яруса на ярус устраивают полурампы, смещая перекрытие соседних помещений гаража на половину высоты яруса или путём устройства наклонных междуярусных перекрытий.

Механизированные — ramпы отсутствуют, автомобили подаются на нужный ярус в лифтовых подъёмниках и устанавливаются на стояночную площадку.

Полумеханизированные — автомобили опускаются на подземный ярус лифтовым подъёмником и устанавливаются водителем на стояночную площадку.

Автоматизированные — все операции по перемещению автомобиля выполняются средствами дистанционного управления

* **Рампа (пандус)** — наклонная конструкция, предназначенная для въезда (выезда) автомобилей на разные уровни автостоянки. Ramпа может быть как открытая, т.е. не имеющая полностью или частично стеновых ограждений и/или покрытия, так и закрытая — имеющая стены и покрытие, изолирующие ramпу от внешней среды.

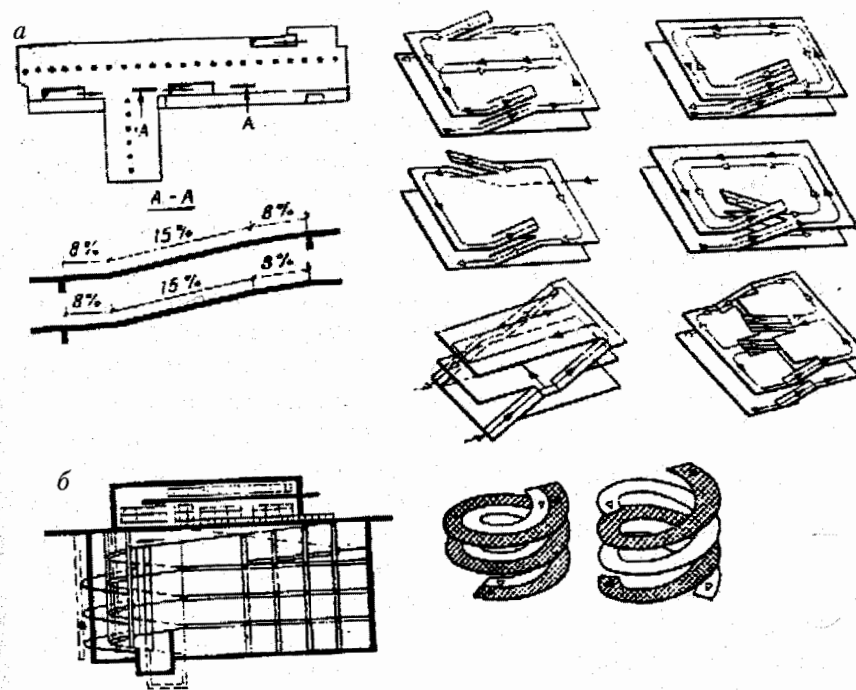


Рис. 2.82. Виды прямых (а) и спиральных (б) ramп

без доступа на стоянку обслуживающего персонала. Высота ярусов уменьшается до минимума, отпадает необходимость в создании системы искусственной вентиляции, освещения и отопления.

Механизированные, полумеханизированные и автоматизированные стоянки, в соответствии со строительными нормами, действующими на территории Москвы, допускается проектировать при размещении на этаже не более 30 машиномест. Во всех остальных случаях, в соответствии с правилами противопожарной безопасности, необходимо предусматривать не менее одной ramпы для выезда автомобилей наружу.

При проектировании подземных автостоянок производят выбор планировочной схемы, обеспечивающей наиболее быструю постановку автомобилей на стояночные места и их подъём на поверхность земли. При этом необходимо предусматривать до-

статочные размеры стояночных мест, проездов, выездов и въездов, создавать удобные пешеходные пути для водителей и обслуживающего персонала. Высота помещений в местах проезда и хранения автомобилей, а также на пешеходных путях, должна быть не менее 2,0 м от пола до низа выступающих конструкций и подвесного оборудования. Толщина слоя грунта над верхним перекрытием составляет 1,5–2 м. Параметры одного машино-места, рампы и проездов определяются в зависимости от габаритов автомашин (или специальной техники), для которых проектируется автостоянка, их маневренности и планировочного решения, с учётом технического оснащения. Состав и площадь помещений и параметры автостоянок с механизированными устройствами для перемещения автомобилей проектируются в соответствии с техническими особенностями используемой системы парковки и перемещения автомобилей. Посты технического осмотра, мелкого технического ремонта, помещения дежурного персонала, насосные пожаротушения и водоснабжения, трансформаторные размещаются не ниже первого этажа подземного сооружения. Не допускается предусматривать посты технического осмотра и мелкого технического ремонта в автостоянках, размещаемых под жилыми домами, и разделять места стоянки автомобилей на боксы (рис. 2.83). Въезды и выезды из гаража должны быть отдале-

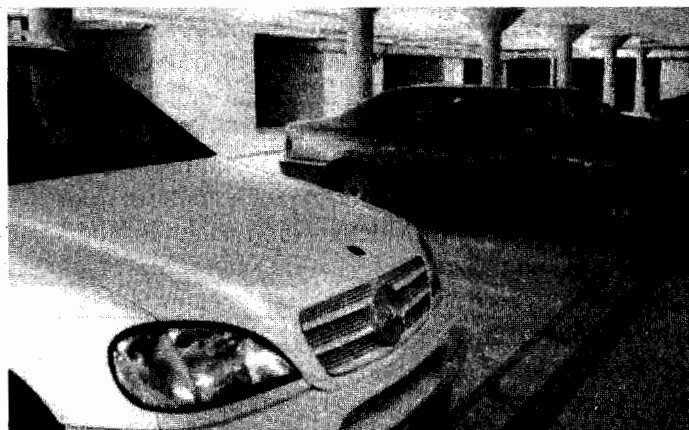


Рис. 2.83. Первый ярус подземной автостоянки под жилым домом на ул. Бирюзова. Москва

ны от жилых зданий минимум на 10–20 м и располагаться непосредственно на прилегающих улицах, не нарушая движения на главных улицах общегородского и районного значения.

В условиях плотной городской застройки под улицами и проездами устраивают автостоянки линейного типа, и, по возможности, придают им квадратное, полигональное или круговое в плане очертания (рис. 2.84). Например возможно размещение протяжённых подземных одно-, двух- или многоярусных автостоянок тоннельного типа с промежуточными (через каждые 300–500 м) рамповыми или лифтовыми въездами–выездами под магистральными улицами районного значения [Власов, Говорова, Конюхов, 2001]. Инженерно-геологические и градостроительные условия Москвы позволяют максимально унифицировать конструкции таких автостоянок. При условии массового строительства, расположении ниже глубины заложения инженерных коммуникаций и пешеходных переходов, возможно решение многих технических, экономических и экологических проблем хранения, ремонта и обслуживания автотранспорта.

Примером современного решения механизированной подземной автостоянки может служить подземный гараж на 183 машино-места в подвальной части восьмизэтажного офисного здания на площади Курфюрстендамм в Берлине, возведённого в 1991–1995 годах по проекту известного американского архитектора Хельмута Яна. Тридцатиметровое

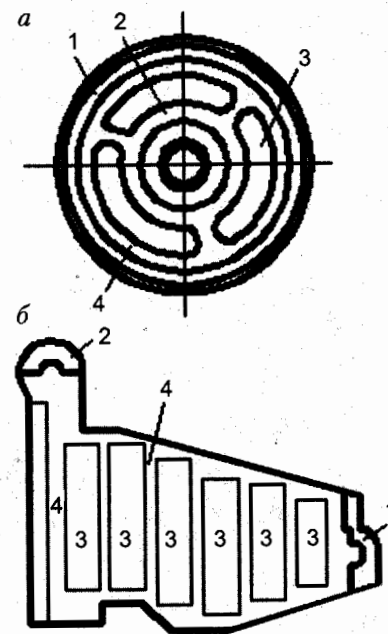


Рис. 2.84. Подземные автостоянки круговой (а) и сложной конфигурации (б) в плане: 1 – въездная рампа, 2 – выездная рампа, 3 – стоянка автомобилей, 4 – проезды

здание полезной площадью 12 800 м² состоит из двух L-образных флигелей, примыкающих к центральному корпусу. Подземная часть была выполнена при помощи унифицированных подземных конструкций (рис. 2.85). На данном объекте был использован усовершенствованный вариант парковочной системы, особенностями которой являются высокомошные приводы, автоматизированное решение по отводу выхлопных газов и модульная конструкция. Минимальная высота гаражного блока достигалась путём использования принципа «горизонтального складирования» автомобилей, подразумевающего их размещение на одном подземном этаже. Постоянные парковочные места располагались под углом 90° по отношению к центральному транспортному проезду. Ширина каждой парковочной ячейки составила 2,5 м, длина каждого гаражного блока — 40 м. Перемещение автомобилей по основному проезду осуществляется при помощи специального транспортёра, представляющего собой металлическую платформу, на которую устанавливается автомобиль, и передвигающаяся по направляющим рельсам со скоростью 0,2 м/с. Применение транспортёра позволяет экономить полезную площадь автостоянки, увеличивая число машиномест.

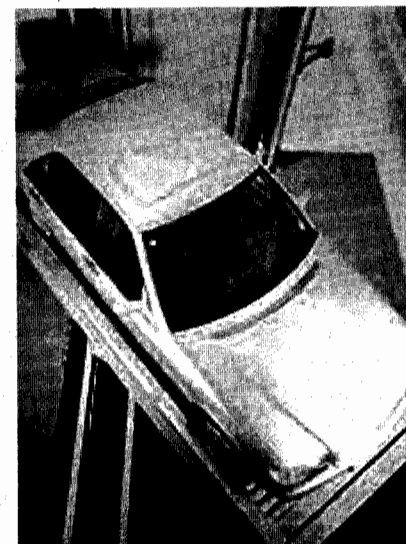


Рис. 2.85. Унифицированные конструкции для механизированных подземных автостоянок

Два из трёх подземных этажей семиэтажного здания музея современных искусств, построенного в период с 1992 по 1995 годы на проспекте Unter den Linden в Берлине, отведены под хранение и временную парковку автомобилей. Полностью автоматизированные парковочные системы, смонтированные в подземной части, позволили освободить прилегающую к зданию тер-

Рис. 2.86. Автоматизированный транспортёр для современной подземной автостоянки

риторию от наземных автостоянок. Для того, чтобы подземная часть объекта смогла воспринимать нагрузки от семиэтажной наземной части здания, были применены свайные фундаменты, погружённые на 8 м ниже УГВ. Для экономии полезной площади гаража, вместо рампы, лестниц и лифтов для автомобилей, были использованы автоматизированные транспортёры, перемещающиеся в горизонтальном, вертикальном и наклонном направлениях (рис. 2.86). Вся система парковки и транспортировки автомобилей выполнена в унифицированных металлических конструкциях, которые, при необходимости, можно демонтировать и переоборудовать.



2.3. Подземные сооружения общественного назначения

2.3.1. Многоярусные многофункциональные подземные комплексы

В последние годы в подземном пространстве городов размещают многоярусные многофункциональные комплексы объектов культурно-бытового обслуживания населения и инженерного обеспечения современного города.

В состав подземных комплексов включают предприятия торговли, общественного питания и бытового обслуживания, складские помещения, транспортные и инженерные коммуникации и т.п. В зависимости от конкретных условий, подземные комплексы могут иметь от 2 до 6 ярусов. Площадь отдельных ярусов и их высоту устанавливают в зависимости от назначения подземного

объекта. Для перемещения людей внутри комплекса, в ряде случаев, предусматривают эскалаторы и траволаторы.

Многоярусные подземные объекты имеют дневное освещение через атриумы различных конструкций в различных комбинациях с искусственным освещением, цветную отделку. Нередко при их оформлении используются натуральные материалы. Системы транспорта и подъёма обеспечивают перемещение посетителей и обслуживающего персонала внутри комплекса.

Отдельное внимание при проектировании многофункциональных подземных комплексов, предназначенных для постоянного присутствия неограниченного числа людей, уделяется созданию комплексных, многоуровневых систем безопасности.

Общих правил создания подземных комплексов в настоящее время не существует. Каждое конкретное решение уникально и, в значительной степени, определяется местными условиями и генеральным планом развития города. Однако, основываясь на многочисленных примерах проектирования и строительства многофункциональных подземных комплексов как в нашей стране, так и за рубежом, можно рекомендовать следующее размещение объектов, входящих в комплекс, по глубине:

первый от дневной поверхности *уровень** — входы и выходы, подземные пешеходные переходы, предприятия торговли, обслуживания, общественного питания, культурно-досуговые центры, т.е. постоянно эксплуатируемые и посещаемые неограниченным количеством людей объекты;

второй уровень — пешеходные переходы, станции метрополитена и пригородной железной дороги, автостоянки и т.п., кратковременно используемые неограниченным количеством людей;

третий уровень — складские помещения, разгрузочные площадки, устройства жизнеобеспечения и нормального функционирования комплекса с постоянным присутствием ограниченного количества обслуживающего персонала;

четвёртый уровень — инженерные коммуникации, эксплуатируемые без постоянного присутствия человека.

* Каждый рассматриваемый уровень может включать в себя несколько ярусов. Размещение сооружений по ярусам в пределах уровня решается в каждом конкретном случае индивидуально.

Первый уровень может освещаться через атриумы дневного света с частичным использованием искусственного освещения, второй и последующий уровни имеют полностью искусственное освещение.

Наиболее важное значение в отделке помещений и архитектурных решениях должно придаваться сооружениям первого и второго уровней. Здесь, по возможности, необходимо максимально использовать натуральные отделочные материалы, дневное освещение, конструктивные решения, усиливающие впечатление связи с дневной поверхностью.

В качестве примера можно привести пятиярусный подземный комплекс под площадью Карлсплатц в Мюнхене, включающий:

торговые помещения, расположенные в первом ярусе от поверхности, имеющие 12 входов и оборудованные лестницами и эскалаторами;

склады, холодильники и разгрузочные устройства торговых предприятий, кассовый зал железнодорожной станции и станции метрополитена — на втором ярусе;

перроны железнодорожной станции, подземную автостоянку на 800 машиномест, станцию технического обслуживания и автозаправку — на 3-м и 4-м ярусах;

устройства инженерного оборудования (трансформаторные подстанции, аварийные дизель-генераторы, станции кондиционирования воздуха, станции перекачки сточных вод) — на 5-м ярусе.

Для наиболее рационального использования подземного пространства коммуникации различного назначения объединяют в двух—трёхъярусные коллекторные блоки.

Построенный в Москве торгово-рекреационный комплекс «Охотный ряд» включает в себя археологический музей, торговый центр, офисы, предприятия общественного питания и автостоянку (рис. 2.87). С точки зрения местоположения в древнейшей части города, особо сложных гидрогеологических условий, размещения в стеснённых городских условиях между тремя линиями метрополитена с сохранением движения наземного транспорта и полного переустройства подземных коммуникаций на площади более 5 га — подземный комплекс не имеет аналогов в мире. Общая площадь комплекса — около 70 000 м², включая



Рис. 2.87. Торгово-рекреационный комплекс «Охотный ряд»

коллектор реки Неглинка, три станции метрополитена, подземные пешеходные переходы. Комплекс «Охотный ряд» состоит из 3 коммерческих и одного технического этажа. Два из трёх подземных переходов выходят к Кремлёвской стене, Александровскому саду и рукотворной реке Неглинка (настоящая Неглинка течёт в трубе). В целом структура сооружения представляет собой пространственный каркас. Вертикальные несущие конструкции ограждают стены, выполненные способом «стена в грунте», и колонны, расположенные с шагом $7,5 \times 7,5$ м и 15×15 м. Они объединены перекрытиями в виде омоноличенных железобетонных ребристых металлических плит. Фундамент сооружения — монолитная железобетонная плита. Под плитой днища предусмотрен пластовый дренаж, являющийся составной частью мероприятий по сохранению гидродинамического режима застраиваемой территории. По периметру малозаглублённой части ТРК проложен контурный дренаж, обеспечивающий сбор наружных стоков и сброс их в водосточную сеть города. Для наиболее рационального использования подземного пространства коммуникации различного назначения были объединены в двух-, трёхъярусные блоки.

2.3.2. Зрелищные и спортивные сооружения

Размещение под землёй подземных сооружений спортивного и зрелищного назначения обычно связано с решением определенных градостроительных, экономических и социальных задач. В соответствии со СНиП II-11-77* «Защитные сооружения гражданской обороны» все спортивные и культурно-бытовые подземные сооружения должны быть запроектированы таким образом, чтобы, в случае необходимости, они могли быть оперативно переоборудованы в убежища и противорадиационные укрытия.

Под землей могут устраиваться бассейны, ледовые площадки, беговые дорожки, залы лёгкой атлетики, театры, киноконцертные, демонстрационные, игровые и видео залы, художественные галереи и другие комплексные спортивные и зрелищные сооружения, при этом в подземных условиях стараются размещать такие спортивные и досуговые объекты, которые функционируют по 12—14 часов в сутки и их работа не сопровождается длительным пребыванием посетителей или их большими скоплениями. Несмотря на то, что современные конструкции и методы ведения работ позволяют возводить крупные подземные выработки, для размещения спортивных и зрелищных сооружений стараются использовать наиболее простые решения, позволяющие максимально использовать несущую способность вмещающего массива (рис. 2.88).

Подземное размещение спортивных и зрелищных объектов, по сравнению с наземным вариантом, связано с дополнительными расходами: примерно на 20—40 % на период строительства и на 3—10 % — на период эксплуатации. Тем не менее, комплексное использование подобных помещений в мирный и особый периоды привело к широкому использованию таких решений, в первую очередь, за рубежом, особенно в странах Скандинавии. Первое подземное убежище, в котором была запроектирована и построена хоккейная площадка, находится в г. Турку (Финляндия). Проектное обоснование использования крупных защитных помещений общей площадью около $5\,000\text{ м}^2$ в мирный период было составлено в 1977 году. Проект был поддержан и совместно финансировался соответствующими ведомствами по делам спорта и гражданской обороны Финляндии.

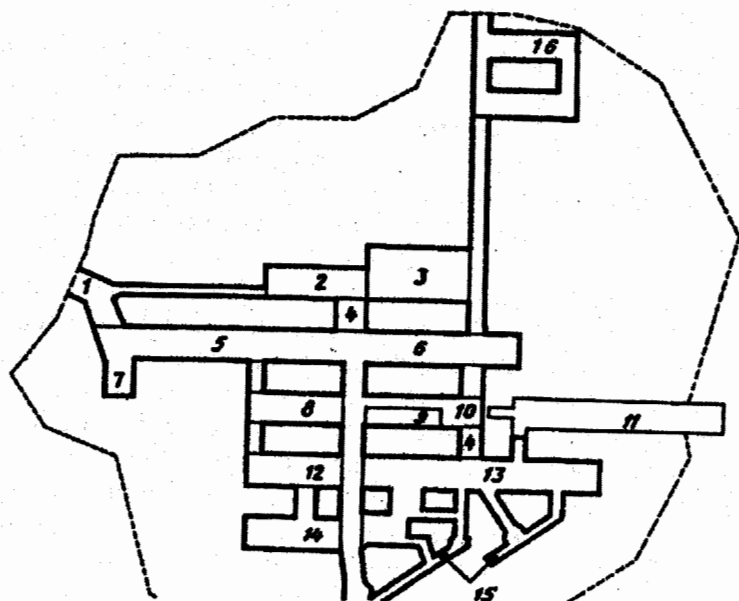


Рис. 2.88. Схема подземного размещения спортивного комплекса. Финляндия:

1, 16 — входы, 2 — душевая и раздевалка, 3 — зал для игры в мяч, 4 — гимнастические залы, 5 — беговая дорожка длиной 120 м, 6 — площадки для прыжков в длину, 7 — площадки для прыжков в высоту, 8 — зал для настольного тенниса, 9 — зал для занятий боксом, 10 — залы для метания копья, ядра, молота и прыжков с шестом, 11 — бассейн объемом 3,5 тыс. м³, 12 — музей, 13 — технические помещения, 14 — помещения для санитарно-технического оборудования, 15 — вентиляционные шахты

В комплекс, после реконструкции, входят две хоккейные площадки, автостоянка, кафетерий, предприятия торговли, технические помещения.

Аналогичным образом было перепрофилировано убежище, сооруженное в середине 1960-х годов в г. Миккели (Финляндия). Убежище было запроектировано и построено для размещения администрации города на особый период. Вследствие того, что помещения в течение длительного времени не использовались, было принято решение разместить в них два бассейна: детский и взрослый шириной 10 м и длиной 25 м, физкультурный зал, раздевалку, душевые, сауну, технические помещения. Во входном

вестибюле были расположены кассовый зал и кафе. Внутренние помещения были покрыты водонепроницаемой полиэтиленовой пленкой, теплоизоляционным материалом толщиной 5 см, гофрированной пленкой и отделаны обработанным под давлением деревом. При перепрофилировании бассейнов под убежище для населения на особый период внутренняя обшивка снимается.

2.4. Подземные сооружения в промышленности

Подземные и заглубленные сооружения в промышленности используются для размещения производств различного технологического назначения. В них размещают: корпуса первичного дробления руды, приемные устройства перерабатываемого сырья на предприятиях строительных материалов, скиповые ямы доменных цехов, подземные части бункерных эстакад, установок грануляции шлаков, непрерывной разливки стали, вагоноопрокидывателей, подземные этажи или подвальные помещения на машиностроительных предприятиях, ткацких фабриках и т.п.

В Швеции [Мостков, Дмитриев, Рахманинов, 1993] под землей размещена большая номенклатура заводов по производству высокоточных приборов, электронного оборудования, реактивных двигателей, самолетов, предприятий оборонного значения. Большинство из них представляет собой камерные выработки пролетом от 15–20 до 30 м, высотой 10–15 м и длиной от 30 до 100 м, возведенные в крепких скальных породах без применения обделки. Многолетний опыт эксплуатации подобных предприятий говорит об отсутствии вредного влияния работы под землей на здоровье персонала.

Шведскими специалистами установлена экономическая целесообразность строительства подземных промышленных предприятий. Это обосновывается снижением эксплуатационных затрат на содержание и обслуживание помещений. Наибольшее число промышленных предприятий здесь сооружается буровзрывным способом в крепких скальных породах.

В период Второй мировой войны в Германии в имеющихся горных выработках и специальных подземных сооружениях были размещены около 150 заводов и цехов. Например, в Нордхаузе был устроен завод по производству ракет ФАУ, размещен-

ный в двух параллельных тоннелях шириной 18 м и высотой 13 м, соединённых между собой поперечными выработками. Много подземных заводов было устроено в Великобритании. Один из них располагался в меловых отложениях. Его цеха представляли собой системы параллельных выработок протяжённостью 200 м и сечением 7×6 каждая. Во Франции подземные заводы размещались в тоннелях длиной до нескольких километров и пролётом по 12–17 м. В США подземные предприятия, производящие высокоточные оптические инструменты, телевизоры и проч., в основном, располагают в отработанных выработках соляных и известковых шахт. Кроме них, пригодными для размещения промышленных объектов были признаны гипсовые, свинцово-цинковые, мраморные, калиевые, железорудные, железокочедановые, сланцевые, медные, золотые, смоляные, глиняные и песчаные шахты. Каменноугольные шахты считаются непригодными из-за малой высоты выработок, неустойчивости кровли, опасности выделения газа и образования угольной пыли.

Американскими специалистами были проведены исследования, показавшие, что:

- под землёй целесообразно размещать предприятия тех отраслей промышленности, в которых перевозка исходного сырья и материалов, а также готовой продукции не требует применения железнодорожного транспорта, а может производиться автомобильным транспортом. В большинстве случаев, для размещения промышленных предприятий такого типа требуются помещения высотой до 4 м и для них могут быть использованы существующие горные выработки, в которых закончена добыча полезных ископаемых;

- подземные химические заводы целесообразно размещать в специально построенных для них выработках, т.к. переоборудование существующих шахт требует значительного увеличения их габаритных размеров с целью организации сложного производственного процесса. Если сырьё и готовая продукция являются жидкостями, то для их перекачки целесообразно применять специально оборудованные скважины;

- в гранитах, песчаниках, известняках, отложениях каменной соли можно возводить большепролётные сооружения, располагая опорные целики через регулярные промежутки.

Глубина заложения промышленных предприятий определяется соображениями безопасности, а также различными технологическими требованиями. Например, в корпусах первичного дробления руды, в приёмных устройствах предприятий по переработке и производству строительных материалов глубина заложения определяется необходимостью перемещения перерабатываемого материала под действием силы тяжести.

На рис. 2.89 представлена схема корпуса первичного дробления руды I и II стадий. Загрузка дробилки первой стадии производится через приёмный бункер, второй стадии — через промежуточную ёмкость. Всё технологическое оборудование размещается под землей. Для доступа обслуживающего персонала используется пассажирский лифт и открытая металлическая лестница. В нижней части корпуса обычно размещают вспомогательные помещения для подающего механизма и транспортёра. В подземных помещениях предусматриваются отопление и вентиляция. Глубина подземной части корпуса от отметки загрузки до дна достигает 60 м и более (рис. 2.90).

В установках непрерывной разливки стали (УНРС) технологический процесс производится по вертикали, чем определяется глубина заложения таких сооружений, составляющая порядка 30 м. На рис. 2.91 приводится схема подземного сооружения для установки непрерывной разливки стали, возведённого в дейст-

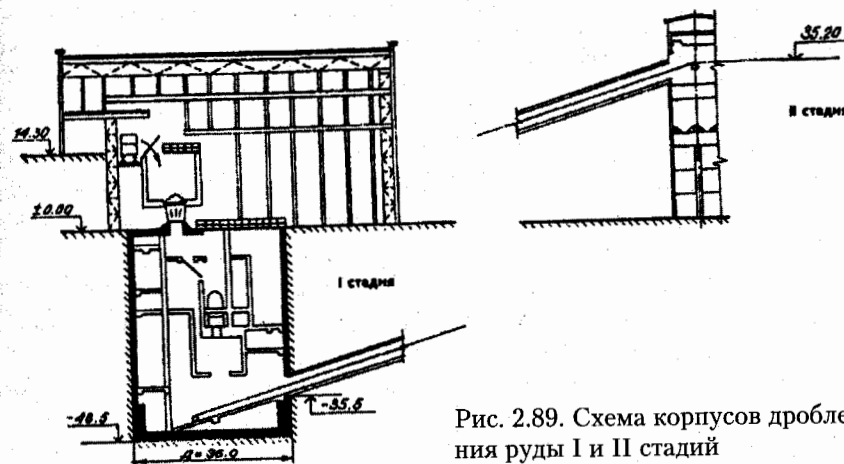


Рис. 2.89. Схема корпусов дробления руды I и II стадий

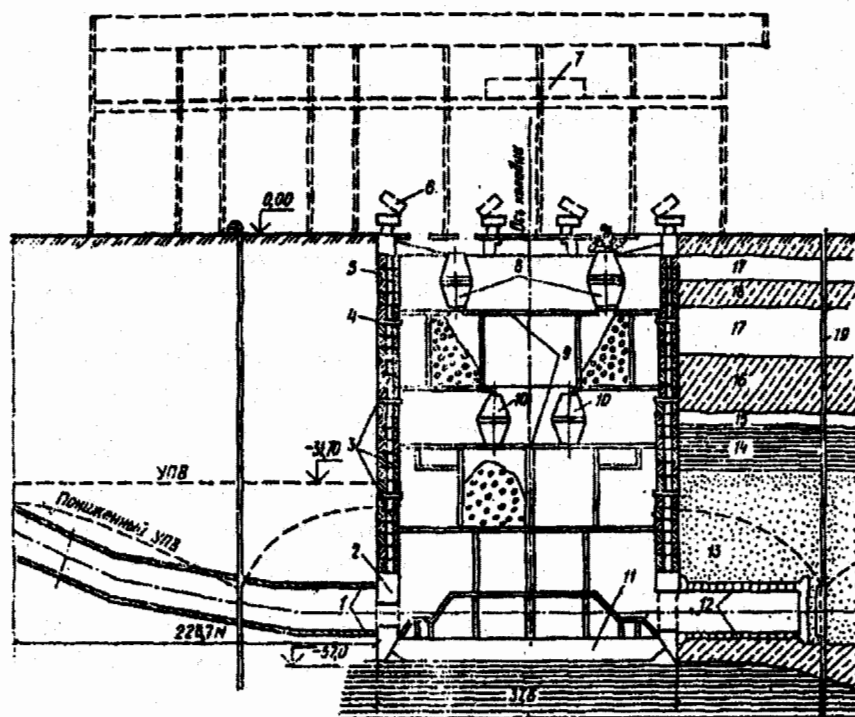


Рис. 2.90. Корпус крупного дробления руды:

1 — галереи для транспортёров, 2 — нижняя часть ствола, 3 — стена, 4 — монолитные железобетонные пояса, 5 — вмещающий грунтовый массив, 6 — железнодорожные вагоны, 7 — мостовой кран, 8, 10 — дробилки, 9 — перекрытия, 11 — днище корпуса, 12 — галереи для натяжной станции, 13 — пески мелкозернистые, 14 — глины алевролитовые, 15 — крепкие мергели, 16 — суглинки, 17 — лёсы, 18 — суглинки лёссовидные, 19 — водопонижающие скважины

ющем мартеновском цехе. Диаметр ствола глубиной 30 м составляет 25 м. Основные ограждающие конструкции выполнены из железобетонных тюбингов, подвешенных к оголовку из монолитного железобетона.

На коксохимических заводах под землёй устраивают роторные вагоноопрокидыватели глубиной 16–18 м, предназначенные для механизированной выгрузки железнодорожных вагонов.

В г. Перно (Финляндия) построен подземный бассейн — док для ремонта морских судов (рис. 2.92). Док состоит из бассейна длиной 480 м, шириной 80 м и глубиной 16 м, пройденного в гра-

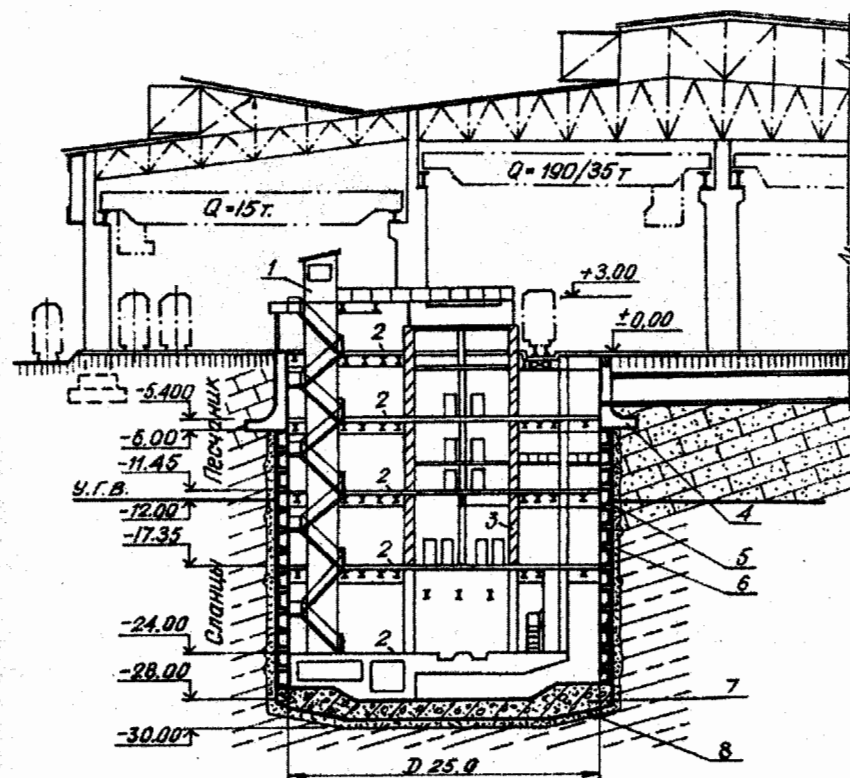


Рис. 2.91. Схема установки непрерывной разливки стали в г. Донецке:

1 — лифт, 2 — междуэтажные перекрытия, 3 — внутренняя камера, 4 — оголовок, 5 — тьюбинги, 6 — тампонажный слой, 7 — монолитное днище, 8 — гидроизоляция

нитах и слюдяных сланцах, и тоннеля для сообщения дна бассейна с зоной верфи. После заводки судна в док и откачки из него воды, корабль садится на килевые дорожки и в таком положении на нём проводятся все работы.

При проектировании промышленных предприятий в подземных выработках необходимо предусматривать планировку цехов, служб и административно-бытовых помещений с учётом возможности создания и использования универсальных объёмно-планировочных решений, санитарно-технических и энергетических устройств, изменения программы выпуска и технологии производства. Расположение цехов должно обеспечивать прямо-

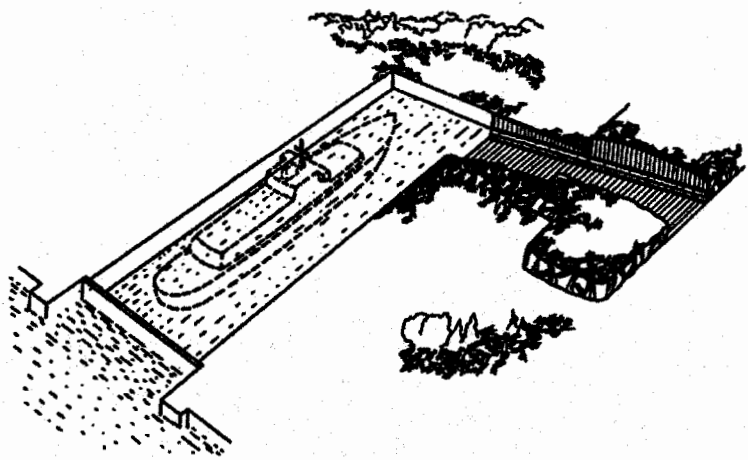


Рис. 2.92. Схема подземного дока. Перно, Финляндия

точность производственного цикла и комплексную механизацию транспорта.

Подземные сооружения промышленного назначения могут размещаться как в один, так и в несколько ярусов, а также возможно устройство многоэтажных помещений в камерных выработках большой высоты. Оптимальной считается коробовая форма поперечного сечения выработки, обеспечивающая не только лучшее восприятие горного давления, но и возможность использования подсводного пространства. Это обеспечивает максимальное освоение подземного пространства промышленным предприятием.

2.5. Сооружения энергетики

Одной из важнейших проблем современной цивилизации является истощение невозобновляемых природных источников органического топлива. Например, при сохранении нынешнего уровня потребления природного газа его запасов хватит только на 60 лет. Поэтому уже многие годы ведутся поиски максимально безопасных альтернативных источников тепловой и электрической энергии, к которым относятся подземные атомные и гидроэлектрические станции.

2.5.1. Атомные электростанции

Многочисленными отечественными и зарубежными исследователями показано, что строительство и эксплуатация подземных АЭС (ПАЭС) являются более безопасными, экологически и экономически выгодными по сравнению с наземными вариантами [Мостков, Кирилов, Николаев, 1985; Юфин, 1989; Мостков, Дмитриев, Рахманинов, 1993; Котенко, Морозов, Петров, 1999]. Это подтверждается почти тридцатилетним опытом эксплуатации экспериментально-промышленных подземных АЭС во многих странах мира, в том числе и в России.

На рис. 2.93 приводятся компоновки подземных АЭС, запроектированных в США.

Обычно ПАЭС состоит из трёх основных частей: энергогенерирующий комплекс (атомный реактор, парогенератор, турбогенератор);

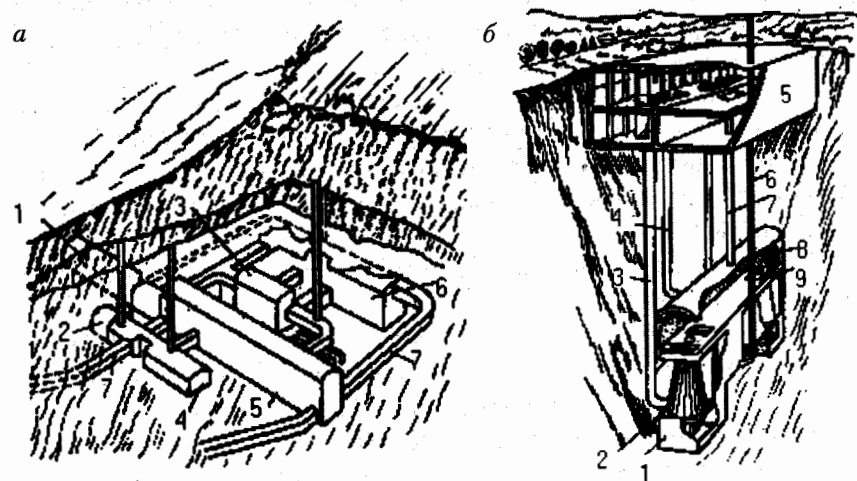


Рис. 2.93. ПАЭС, проекты США:

a — ПАЭС Безайн; 1 — центр управления, 2 — секция электрооборудования, 3 — 6 — камеры реакторов, трансформаторов, турбин, вспомогательных устройств, 7 — тоннели, *б* — ПАЭС «Харца Инжиниринг»; 1 — подреакторное помещение, 2 — оболочка реактора, 3 — шахта для трубопровода, 4 — шахта для персонала, 5 — турбинная камера, 6 — вентшахта, 7 — транспортная шахта, 8 — сепаратор пара, 9 — топливный бассейн

технологический комплекс для сбора и обработки радиоактивных отходов;

комплекс горных выработок для хранения переработанного ядерного топлива.

Возможный риск возникновения аварийных ситуаций снижается за счёт системы многобарьерной защиты, основанной на изоляционных свойствах вмещающего горного массива. При гипотетической аварии с расплавлением активной зоны реактора объём аварийного выброса уменьшается за счёт того, что:

1. горные породы, в которых размещается ПАЭС, являются достаточно надёжным барьером распространения газообразных и жидких радионуклидов;

2. при строительстве реакторной камеры применяются специальные методы проведения буровзрывных работ или механизированная проходка, снижающие до минимума нарушения естественного состояния горного массива и его изолирующих свойств;

3. железобетонная обделка реакторной камеры проектируется таким образом, чтобы при любых авариях не нарушалась целостность вмещающего массива;

4. для дополнительного улучшения физико-механических и изолирующих свойств горных пород в районе реакторной камеры и хранилища радиоактивных отходов проводится их укрепительная цементация или тампонаж с использованием химических растворов.

Таким образом, при подземном размещении АЭС решаются многие проблемы.

1. Повышается безопасность эксплуатации за счёт того, что: конструкция и вмещающий массив воспринимают аварийные нагрузки и являются универсальным барьером, надёжно изолирующим ПАЭС от окружающей среды;

снижается интенсивность вероятных сейсмических воздействий;

при аварийном охлаждении реактора возможна организация отвода тепла непосредственно в грунт, либо устройство теплоаккумуляторов, использующих тепло, отводимое от реактора, работающего в штатном режиме;

проблема утилизации и нераспространения радиоактивных отходов решается за счёт организации в станционном комплексе

долговременного хранилища отработанного ядерного топлива, что на достаточно длительное время откладывает необходимость его переработки и транспортировки.

2. Повышается экономическая конкурентоспособность АЭС за счёт того, что:

подземное размещение АЭС позволяет расположить станцию в непосредственной близости от городской черты. Это повышает эффективность теплоэлектроснабжения за счёт сокращения потерь энергии при передаче на большие расстояния и использования тепла, выделяемого реакторами ПАЭС, для централизованного теплоснабжения;

процесс ликвидации ПАЭС сопровождается значительно меньшими затратами на демонтаж, дезактивацию и захоронение отходов и конструкций по сравнению с наземной АЭС. Отработавшие срок службы реакторные блоки и конструктивные элементы могут захораниваться на месте при минимальной стоимости и объёме работ;

устройство в общем станционном комплексе долговременно (на 100–200 лет) хранилища радиоактивных отходов не только решает проблемы их утилизации, но и значительно снижает её стоимость.

При подземном расположении АЭС появляются принципиально новые возможности пространственной компоновки станции (см. рис. 2.93) и облегчаются основные несущие конструкции за счёт передачи части нагрузок на массив. Чаще всего используются следующие варианты объёмно-планировочных решений:

реакторная группа оборудования и систем размещается под землёй, а все остальные системы — на поверхности;

всё оборудование и системы размещаются под землёй в одной камерной выработке;

всё оборудование и системы размещаются под землёй в нескольких камерных выработках, соединённых между собой системами тоннелей.

При разработке камерных выработок ПАЭС предъявляются повышенные требования к сохранности контура выработки, к конструкции и материалам обделки. К массивам горных пород предъявляют те же требования, что и при проектировании хра-

нилищ радиоактивных отходов, отдавая предпочтение породам с коэффициентом крепости по шкале Протодяконова $f_{кр} > 10$.

Таким образом, подземное размещение АЭС обеспечивает её надёжность, экономическую эффективность, безопасность эксплуатации и последующей ликвидации станции.

2.5.2. Гидроэлектростанции (ГЭС) и гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)

При строительстве гидроузлов широко используются подземные сооружения: гидротехнические тоннели, шахтные турбинные водоводы, уравнильные шахты и резервуары, подземные машинные залы, камеры затворов и трансформаторные, подземные бассейны ГАЭС. В настоящее время в мире построены более 400 подземных ГЭС и ГАЭС. Сравнение стоимости наземных и подземных вариантов показывает, что разница обычно не превышает $\pm 5\div 10\%$ [Мостков, Дмитриев, Рахманинов, 1993], однако подземная компоновка станций имеет следующие преимущества:

- компоновочные: минимальные нарушения природной среды, сокращение длины напорных водоводов, защита сооружений от неблагоприятных природно-климатических и инженерно-геологических явлений и процессов, удешевление эксплуатации;
- конструктивные: облегчение конструкций и снижение удельного расхода бетона за счёт использования несущей способности скального массива;
- технологические: возможность применения единых технологических схем производства работ, не зависящих от климатических условий.

В состав подземных ГЭС и ГАЭС входят*:

Водоприёмник (поверхностный или глубинный). Он представляет собой напорный или безнапорный тоннель переменного сечения, проложенный в бортовом склоне водохранилища и перекрытый на входе затворами и сороудерживающими решётками (рис. 2.94). Площадь поперечного сечения водоприёмника на входе определяется допустимыми скоростями движения воды перед сороудерживающими решётками, по мере заглубления в массив площадь сечения водоприёмника плавно уменьшается до достижения площади сечения деривационного водовода.

* Раздел, в основном, излагается по [Мостков, Орлов, Степанов, 1986].

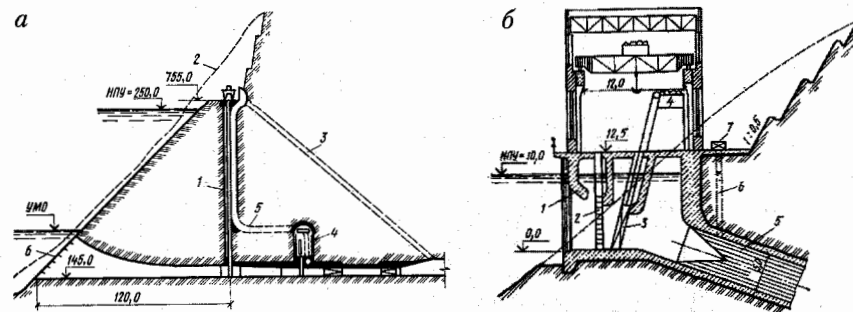


Рис. 2.94. Водоприёмники:

a — глубинный; 1 — шахта ремонтных затворов, 2 — дневная поверхность, 3 — аэрационная шахта, 4 — помещения аварийных затворов, 5 — аэрационная труба, 6 — сороудерживающая решётка; *б* — поверхностный; 1 — балка-затвора, 2 — паз ремонтных затворов и сороудерживающих решёток, 3 — аварийно-ремонтный затвор, 4 — подъёмник аварийно-ремонтного затвора, 5 — напорный деривационный тоннель, 6 — аэрационная шахта, 7 — защитная сетка

В компоновках ГАЭС водоприёмники используются в качестве водовыпусков при работе ГАЭС в насосном режиме.

Деривационный тоннель — это протяжённый гидротехнический тоннель, предназначенный для подвода или отвода воды и создания напора на гидроагрегаты. Деривационные тоннели принято подразделять на верховые и низовые: верховые используются для подвода воды к гидроагрегатам ГЭС и ГАЭС и отвода воды в насосном режиме ГАЭС; низовые — для отвода воды в турбинном режиме и подвода ее — в насосном.

При использовании глубинного водоприёмника верховая деривация выполняется напорной и в конце сопрягается с уравнительным резервуаром (рис. 2.95). При использовании поверхностного водоприёмника (рис. 2.96) подводящий тоннель проектируется безнапорным.

Отводящая деривация также может проектироваться как напорной, так и безнапорной (см. рис. 2.95). Выбор типа отводящего тоннеля определяется диапазоном колебания уровня воды в нижнем бьефе гидроузла.

Энергетические водоводы используются для распределения водного потока от подводящего тоннеля к гидроагрегатам (рис. 2.97).

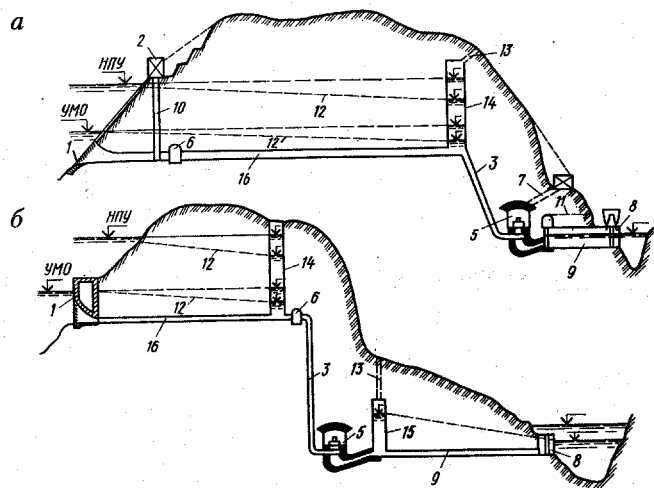


Рис. 2.95. Концевая (а) и промежуточная (б) схемы компоновки подземных ГЭС:

1 — водоприёмник, 2 — подъёмные механизмы, 3(4) — энергетические водоводы, 5 — машинный зал, 6 — помещения затворов, 7 — шинный тоннель, 8 — выходной портал, 9 — низовой деривационный водовод, 10 — шахта затворов, 11 — транспортный тоннель, 12 — пьезометрический уровень, 13 — аэрационная шахта, 14, 15 — верховой и низовой уравнильные резервуары, 16 — верховой деривационный водовод

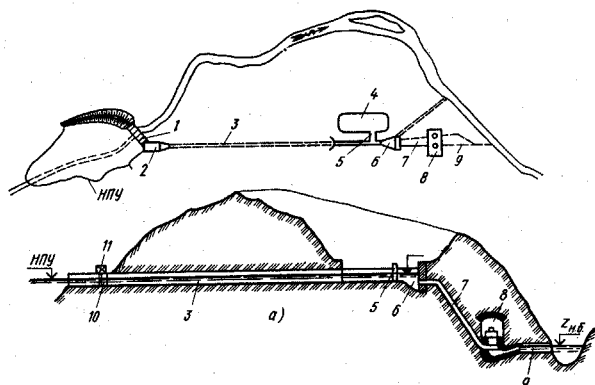
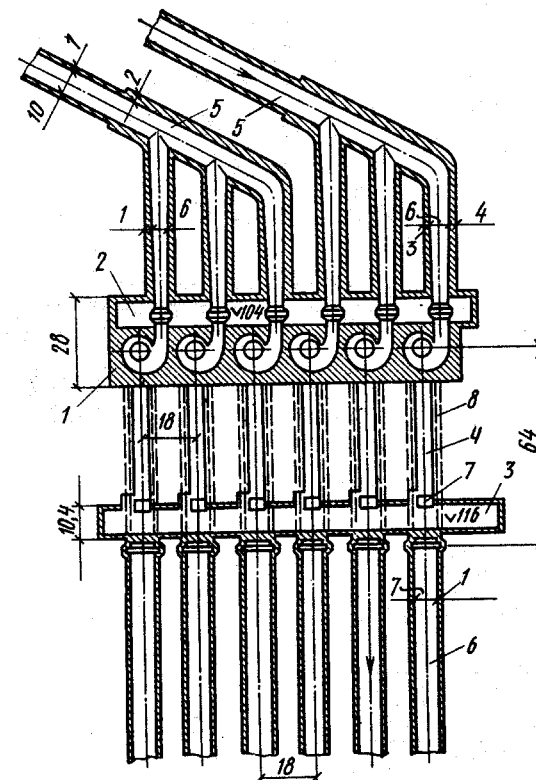


Рис. 2.96. Деривационная ГЭС с низконапорным головным узлом (а — план, б — разрез):

1 — водосбросная плотина, 2 — водоприёмник с отстойником, 3 — безнапорный деривационный тоннель, 4 — бассейн суточного регулирования, 5 — соединительный канал, 6 — напорный бассейн, 7 — энергетический водовод, 8 — подземный машинный зал, 9 — безнапорный отводящий тоннель

Рис. 2.97. Компоновка энергетических водоводов:

1 — подземный машинный зал, 2 — помещение затворов, 3 — помещение силовых трансформаторов и затворов отсасывающих труб, 4 — галерея шин генераторного напряжения, 5 — энергетические водоводы, 6 — безнапорные отводящие водоводы, 7 — силовой трансформатор, 8 — отсасывающие трубы



Уравнильные резервуары — это шахты, размещаемые как на подводящих, так и на отводящих деривационных водоводах для их защиты от гидравлического удара (рис. 2.98). Уравнильный резервуар заменяет собой предохранительный клапан, снижающий величину гидравлического удара при резком изменении давления в тоннеле. Причиной изменения давления может быть изменение режима работы станции, внезапная остановка турбины, различные нештатные ситуации.

Аэрационные шахты предназначены для подачи воздуха в водоводы в случае их отключения от водоприёмника (см. рис. 2.94, а), для поддержания атмосферного давления на поверхности воды при колебании уровня в уравнильном резервуаре (см. рис. 2.95), для гарантированной работы безнапорного деривационного тоннеля большой протяжённости в безнапорном режиме, для подачи чисто-

1 — деривационный тоннель, 2 — соединительная шахта, 3 — верхняя камера, 4 — сбросной тоннель из уравнильного резервуара, 5 — уравнильный резервуар, 6 — дополнительное гидравлическое сопротивление, 7 — соединительный тоннель

1 — водоприёмник, 2 — осадочные породы, 3 — граниты, 4 — напорная шахта, 5 — галереи затворов, 6 — подземный бассейн, 7 — ось агрегата, 8 — машинный зал ГАЭС, 9 — камера затворов

го воздуха с поверхности в подземные машинные залы, камеры затворов, трансформаторные и пр.

Подземные низовые бассейны ГАЭС используют для создания необходимого напора и в тех случаях, когда производится отвод воды в открытый бассейн или реку. Нижний подземный бассейн представляет собой крупную камерную выработку пролётом около 20 м и высотой около 30 м, расположенную на значительной глубине (порядка 1—1,2 км) от земной поверхности (рис. 2.99), либо систему протяжённых параллельных безнапорных тоннелей, объединённых общей сборной галереей (рис. 2.100), и рассчитанных на аккумуляцию объёма воды в течение суток при работе ГАЭС в пике графика нагрузки энергосистемы. Кроме параллельных, возможны системы перекрёстных тоннелей и другие компоновочные варианты.

Строительные тоннели предназначаются для пропуска бытовых расходов реки в период строительства гидроэнергетического

Рис. 2.100. Подземная ГАЗС с низовым резервуаром в виде системы протяжённых безнапорных тоннелей: *а* — разрез по основным сооружениям, *б* — план сооружений; 1 — водоприёмник, 2 — напорные энергетические водоводы, 3 — подземный машинный зал, 4 — вентиляционная и шинно-кабельная шахта, 5 — вентиляционная шахта нижнего резервуара, 6 — затворы отсасывающих труб, 7 — подземный нижний резервуар, 8 — транспортный тоннель, 9 — открытое распределительное устройство, 10, 11 — подходы к тоннели, 12 — отсасывающие трубы, 13 — здание вентиляторов, 14 — вентиляционный тоннель, 15 — вход в подходный тоннель

комплекса. Они могут проектироваться как временные, только на период строительства, так и постоянные — по окончании строительства они используются для пропуска паводка. В этом случае, после полного или частичного завершения строительства, часть строительного тоннеля включают в постоянный эксплуатационный водосброс гидроузла. Для этого напорный участок строительного тоннеля отсекают бетонной пробкой, устраивают постоянный водозабор, соединённый наклонным тоннелем с постоянным водосбросом. Начальный участок строительного тоннеля затопливается при заполнении водохранилища и в дальнейшем не используется.

Подземный машинный зал предназначен для размещения и обслуживания основного гидросилового оборудования (гидротурбин, генераторов, повышающих трансформаторов) (рис 2.101).

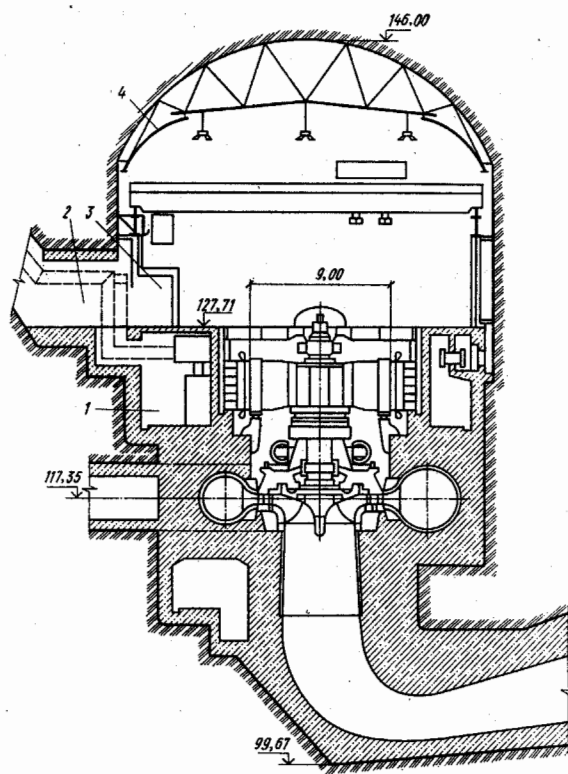


Рис. 2.101. Подземный машинный зал ГЭС:
1 — кабельный коридор,
2 — галерея генераторных выводов, 3 — галерея управления, 4 — подвесной потолок

Размеры подземных машинных залов ГЭС и ГАЭС определяются размерами основного гидросилового и гидромеханического оборудования. Существенное влияние на габариты подземных машинных залов оказывают инженерно-геологические условия района строительства: в неблагоприятных условиях проектировщики вынуждены уменьшать пролёт выработки, что, в свою очередь, ведёт к изменению мощности и размеров основного энергетического оборудования или к увеличению числа агрегатов при заданной установленной мощности станции.

Кроме инженерно-геологических условий, на габариты подземного машинного зала влияет размещение силовых трансформаторов и затворов на турбинных водоводах. Согласно принятой классификации, подземные машинные залы подразделяются на две основные группы:

1. в машзале размещаются только гидроагрегаты. Силовые трансформаторы выносят на поверхность земли, либо размещают под землёй в отдельной камерной выработке; затворы на энергетических водоводах совмещают с водоприёмниками или также размещают в отдельных помещениях;

2. в машинном зале устанавливают силовые трансформаторы или затворы на подводящих водоводах, либо вместе и то, и другое.

Переходным вариантом между поверхностной и подземной компоновками является полуподземный машинный зал, выполняемый в виде траншеи в скальных породах. Сверху траншея перекрывается либо железобетонным сводом с обратной засыпкой каменной наброской, либо металлическими фермами (рис. 2.102). Такое расположение позволяет использовать несущую способность скального массива, уменьшить объём бетона и железобетона за счёт использования несущей способности скального массива, облегчить ведение строительно-монтажных работ, сократить трансформаторные коммуникации, выполнить значительную часть земляных работ открытым способом.

Помещения силовых трансформаторов предназначены для размещения повышающих трансформаторов. По возможности эти выработки должны располагаться как можно ближе к машинному залу и сообщаться с ним кабельными тоннелями или шахтами. Наземное или подземное расположение трансформаторов определяется расстоянием от машинного зала до поверхности

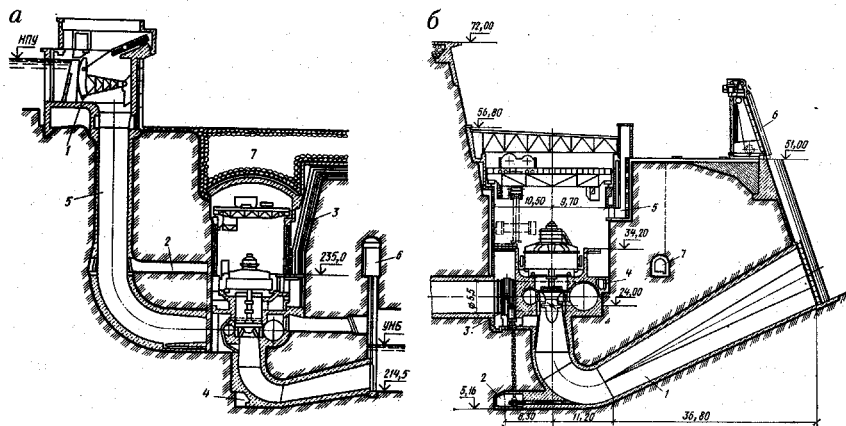


Рис. 2.102. Полуподземные ГЭС:

a — ГЭС Сторфинфорсен (Швеция); 1 — сегментный затвор, 2 — лаз в турбинный водовод, 3 — кабельная шахта, 4 — дренажная галерея, 5 — турбинный водовод, 6 — помещение затворов отсасывающих труб, 7 — каменная засыпка; *б* — Вилуйская ГЭС (Россия); 1 — отсасывающая труба, 2 — насосное помещение, 3 — затвор, 4 — кабельный коридор, 5 — транспортно-вентиляционная шахта, 6 — кран, 7 — дренажная галерея

земли. При удалении гидрогенераторов от трансформаторов, измеряемом первыми сотнями метров, происходят большие потери электроэнергии при ее передаче. В этом случае для установки трансформаторов проектируют отдельные камерные выработки, соизмеримые по размерам с габаритами машинного зала (рис. 2.103).

Силовые трансформаторы могут располагаться не только в отдельных выработках, но и в верхней части низового уравнительного резервуара, в специальных нишах в скальном массиве, примыкающем к машинному залу, под полом машинного зала между генераторами.

Помещения затворов располагают за глубинным водоприёмником, уравнительным резервуаром, перед машинным залом на энергетических водоводах, за машинным залом на отсасывающих трубопроводах (см. рис 2.95). Эти выработки соединяются с поверхностью посредством тоннелей или шахт, обеспечивающих возможность подвоза оборудования и доступа эксплуатационного персонала.

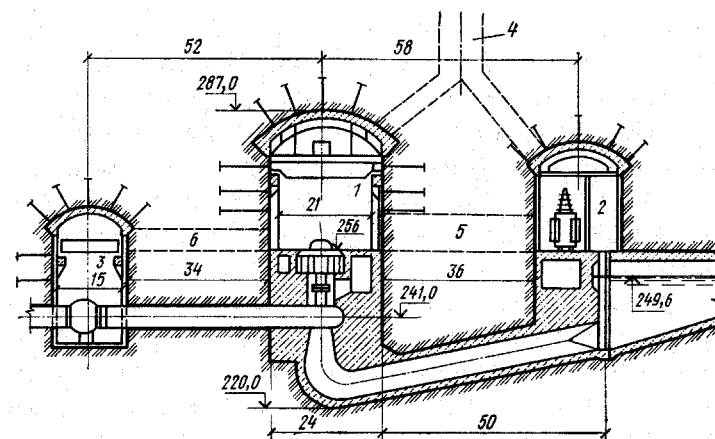


Рис. 2.103. Подземная ГЭС с раздельным размещением основных помещений:

1 — машинный зал, 2 — помещение силовых трансформаторов и затворов отсасывающих труб, 3 — помещение затворов, 4 — вентиляционная шахта, 5 — галерея шинных выводов, 6 — соединительный тоннель

2.5.3. Гидротехнические тоннели

Гидротехнические тоннели используются не только для подвода и отвода воды к ГЭС и ГАЭС, но и для передачи больших объёмов воды на значительные расстояния. Форма поперечного сечения таких тоннелей, чаще всего, бывает круглой, корытообразной или подковообразной (см. рис. 2.2). Обделка обычно выполняется из монолитного бетона или железобетона. В последние годы всё чаще для крепления стен безнапорных тоннелей используется набрызгбетон с анкерами.

Трассу гидротехнического тоннеля, по возможности, стараются прокладывать по прямой. Это позволяет минимизировать длину тоннеля, снизить гидравлическое сопротивление, потери энергии на ГЭС, уменьшить капиталовложения. Во многих случаях проектировщики вынуждены отступать от прямолинейной в плане трассы. Причинами этого являются неблагоприятные инженерно-геологические условия, топография местности, способы производства работ.

При большой протяжённости тоннеля проходка с двух порталов может значительно увеличить сроки строительства, поэтому

дко прибегают к использованию дополнительных забоев и, что, в свою очередь, может приводить к искривлению трассы в плане. Боковые забои открывают в ложбинах, низинах, оврагах, проходящих вблизи от трассы тоннеля.

Для безнапорных тоннелей трасса в профиле размещается таким образом, чтобы соблюсти условия эксплуатации тоннеля в штатном режиме. Это, в первую очередь, обеспечивается созданием гидравлических условий на входном и выходном порталах постоянным геометрическим уклоном по трассе. Непредусмотренный при проектировании безнапорных тоннелей переход от нормального режима приводит к разрушению отделки свода и стенок тоннеля из-за резких перепадов давления, и, как следствие, к вывалам грунта и другим аварийным ситуациям. По этим же причинам угол трассы тоннеля в плане не должен превышать 60° , а радиус закругления не должен быть менее пяти пролётов тоннеля в плане. При высоких скоростях движения воды (свыше 10 м/с), радиус поворота проектируется на основании результатов гидравлических исследований.

Характерным примером является тоннель для переброски воды из реки Арпы в озеро Севан (см. рис. 1.7). Протяжённость тоннеля 48 км. Для ускорения строительства тоннель проходился с помощью 11 забоев: два на входном и выходном участках и девять созданы с помощью четырёх шахт и понижений местности при пересечении трассой тоннеля реки Элегис.

В Москве в 1940-м году между Химкинским водохранилищем и Якимовским прудом был проложен безнапорный тоннель, по которому вода из водохранилища самотёком поступает в трубы, которые обводняют реки Лихоборка и Яуза.

В Финляндии для водоснабжения Хельсинки запроектирован и построен тоннель Пяйянне. Протяжённость тоннеля 48 км, площадь поперечного сечения $15,5 \text{ м}^2$. Для обеспечения эксплуатации тоннеля был построен поверхностный водозабор и расположенные под землёй две насосные станции и компрессорная. Управление и контроль за работой тоннеля ведётся с единого диспетчерского пункта. Тоннель был построен в течение 1971–1982 годов. Строительство велось на трёх участках протяжённостью 35, 59 и 26 км. Средняя скорость проходки составляла — 100 м в неделю. Для крепления свода и стенок использовались

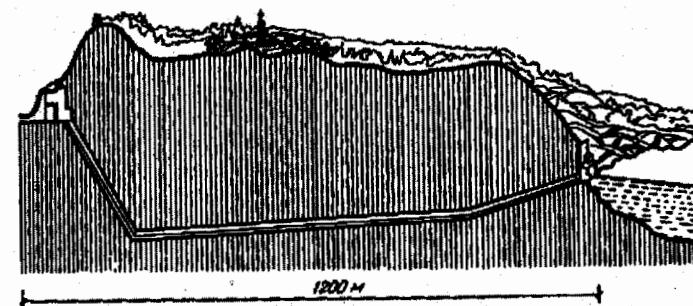


Рис. 2.104. Гидротехнический тоннель для подачи воды в рыбохозяйство. Финляндия

лись анкера. Примерно на $1/6$ от длины тоннеля была выполнена железобетонная обделка, в зонах инженерно-геологических нарушений проводились работы по инъецированию.

Гидротехнические тоннели могут использоваться не только для переброски стоков, обводнения участков рек, водоснабжения и отвода ливневых и сточных вод. В 1984 году в Восточной Финляндии был построен тоннель для подачи воды в рыбохозяйство (рис. 2.104). В начале тоннеля был построен водозабор, а в конце — распределительный бассейн, откуда вода по четырём распределительным трубопроводам подаётся на различные участки рыбного хозяйства.

2.6. Подземные хранилища

Под землёй могут располагаться различного вида склады и хранилища: архивы, холодильники и морозильники продуктов, склады вина, пива, прохладительных напитков, хранилища нефти, газа, нефтепродуктов, взрывчатых веществ, склады машин и оборудования.

Подземное размещение складских помещений имеет ряд несомненных преимуществ по сравнению с наземным (рис. 2.105):

- благоприятные температурный и влажностный режимы, способность скального массива в течение длительного времени сохранять постоянную температуру и влажность, что гарантирует сохранность продукции и материалов в течение длительного времени, в том числе и при отключении внешнего энергоснабжения;

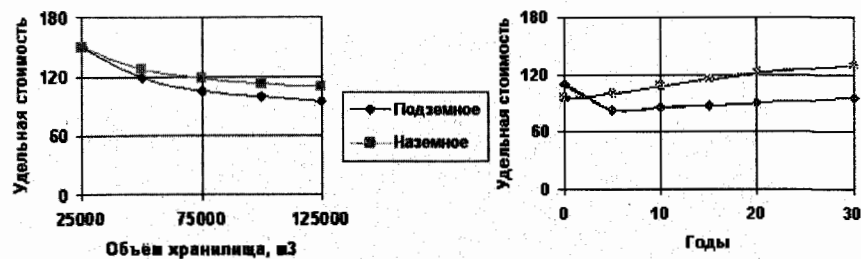


Рис. 2.105. Относительные расходы на строительство (а) и эксплуатацию (б) хранилища [Саари, Рейнисто, Лайне, 1993]

- значительно более низкое удельное энергопотребление;
- безопасность хранения взрывчатых, вредных, агрессивных и других материалов, а также материалов и оборудования, чувствительных к вибрации;
- возможность оптимального размещения складских помещений в подземном пространстве, позволяющая достичь наиболее рационального расположения и взаимосвязи всех частей и служб хранилища;
- использование несущей способности скального массива для облегчения, а, в некоторых случаях, и полного исключения постоянного крепления выработок;
- снижение транспортных расходов за счёт размещения складских помещений в непосредственной близости от производственных предприятий и жилых зон;
- пожарная безопасность.

При размещении складских помещений в подземном пространстве необходимо предусматривать максимальное использование естественных температурно-влажностных условий выработки. Например, хранилища вин и консервированной продукции не требуют изменения естественных температурно-влажностных параметров, в общетоварных складах и хранилищах необходимо снижение только абсолютной влажности воздуха, а в охлаждаемых складах — только понижение температуры.

В зависимости от способа производства работ, вида хранимого продукта, функционального назначения объекта и глубины заложения, а также инженерно-геологических условий, хранилища могут создаваться в отложениях каменной соли, плотных

скальных породах и в мягких грунтах, расположенных ниже уровня грунтовых вод. Военно-инженерным ведомством США для размещения складских помещений разработана программа строительства подземных выработок большой протяжённости во льдах Гренландии.

2.6.1. Хранилища нефти, газа и нефтепродуктов

Для хранения нефти, нефтепродуктов и природного газа в большинстве стран мира используются специальные подземные комплексы, устраиваемые геотехнологическими и горными способами в непроницаемых массивах горных пород и грунтов.

Первое в мире подземное нефтехранилище было построено в 1948 году в г. Наанали (Финляндия). Хранилище работает по так называемому Senlab-методу и представляет собой забетонированный металлический резервуар в обводнённом скальном массиве, имеющий форму бутылки, заполненной снизу до барьерного уровня водой под давлением (рис. 2.106).

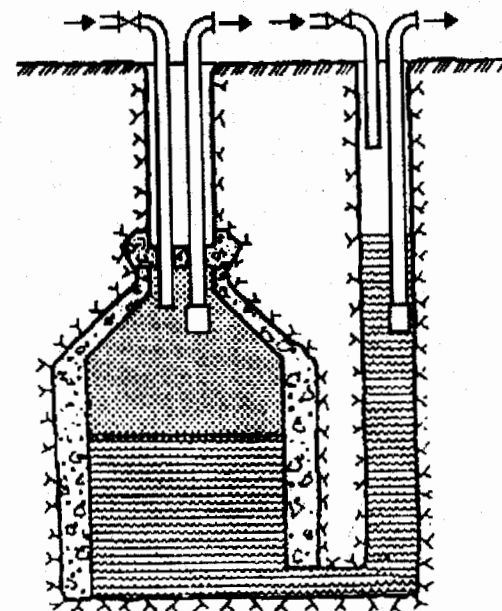


Рис. 2.106. Подземное нефтехранилище. Наанали, Финляндия

Исследования, проведённые скандинавскими учёными, доказали, что подземные хранилища нефти и нефтепродуктов объёмом более 40 000 м³ являются более экономически выгодными и безопасными по сравнению с наземными. Техничко-экономические расчёты показывают, что, по сравнению с наземными, при сооружении подземных хранилищ расход листовой стали сокращается до 20–25 кг на одну тонну хранимого продукта, стоимость строительства снижается в 1,5–3,5 раза, эксплуатационные расходы — в 2–5 раз [Ториков, 1978].

К концу 1960-х годов в США 97,7 % сжиженных газов хранились под землёй, причём часть хранилищ была заглублена до 600–1800 м.

В состав хранилищ нефти и нефтепродуктов (рис. 2.107) входят: один или несколько резервуаров, насосная и ствол для спуска обслуживающего персонала, соединённые между собой системой тоннелей. Для отбора нефтепродуктов используются специально пробуренные скважины. В большинстве случаев используемые в качестве резервуаров камерные выработки проектируются без обделки или закрепляются анкерами. Сплошная железобетонная обделка возводится только на участках геологических нарушений массива. Для изоляции ёмкостей от внешней среды устраиваются герметичные перемычки. С целью повышения непроницаемости массива проводятся работы по его тампонированию.

Для хранения светлых нефтепродуктов, агрессивных жидкостей и газов могут использоваться не только прочные скальные породы, но и глины.

В штате Огайо на глубине 110 м сооружено подземное хранилище сжиженных газов объёмом 135 тыс. м³. Оно представляет

собой систему из 40 камер-ёмкостей сечением 7,5 × 7,5 м. С поверхностью камеры соединены системой скважин.

Большое распространение получило строительство подземных резервуаров нефти, газа и нефтепродуктов в странах Скандинавии.

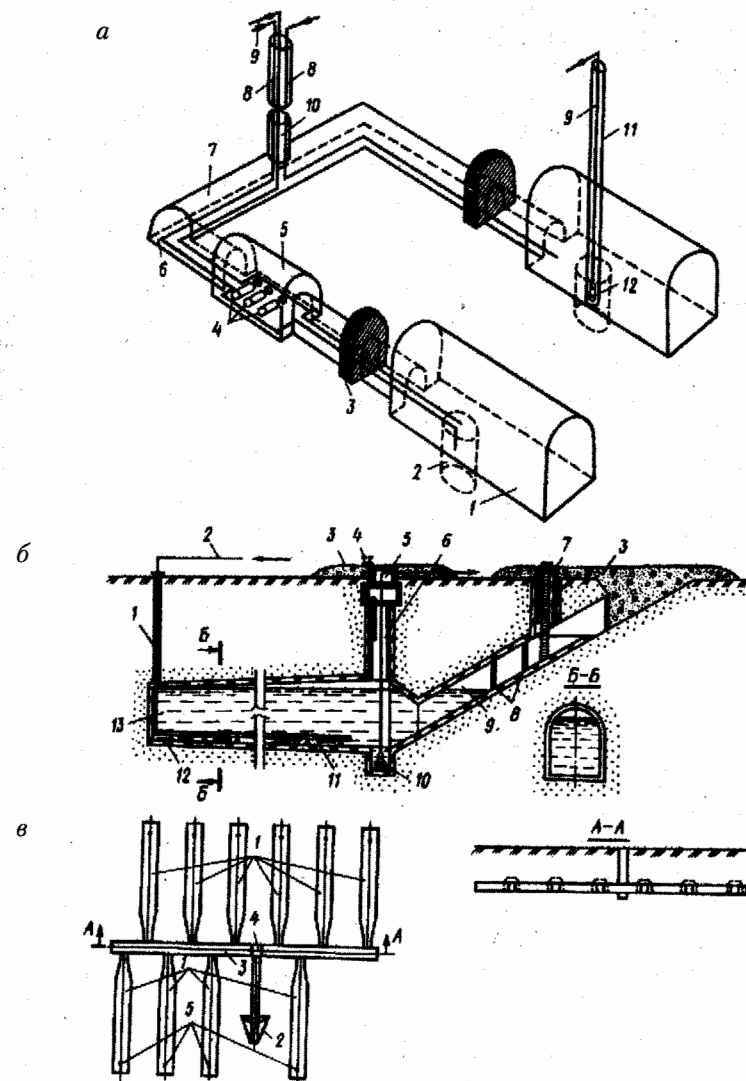


Рис. 2.107. Схемы подземных нефтехранилищ:

а — резервуары; 1 — выработка, 2 — зумпф, 3 — герметичная перемычка, 4, 12 — насосы, 5 — насосная камера, 6 — подходной тоннель, 7 — коллекторный тоннель; 8, 9 — трубопроводы для залива и отбора нефтепродуктов, 10 — шахта, 11 — технологическая скважина; б — однокамерный резервуар; 1 — технологическая скважина, 2 — трубопровод для залива нефтепродуктов, 3 — теплоизоляция, 4 — клапан, 5 — оголовок колодца, 6, 7 — эксплуатационный и смотровой колодцы, 8 — перемычки, 9 — наклонный ствол, 10 — насос, 11 — устройство для слива, 12 — облицовка, 13 — ёмкость; в — многокамерный резервуар; 1 — ёмкости, 2 — наклонный ствол, 3 — коллекторный тоннель, 4 — эксплуатационный колодец, 5 — технологические скважины

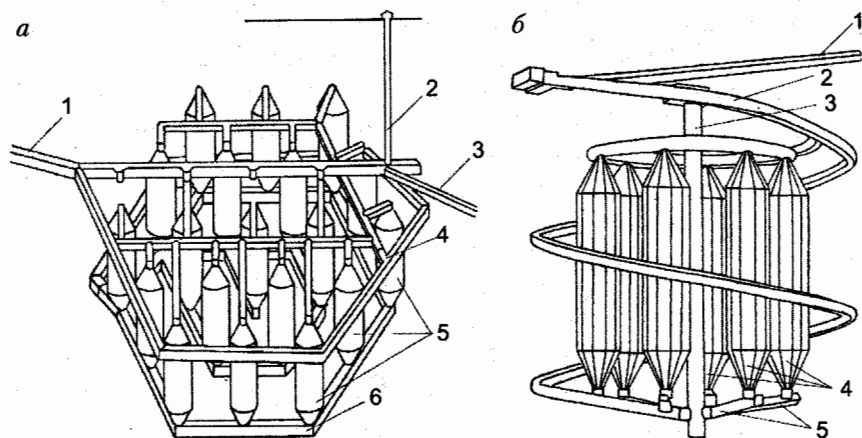


Рис. 2.108. Схемы расположения ёмкостей нефтехранилища по типу «Политанк»:

а. 1 — наклонный транспортный тоннель, 2 — вертикальный ствол, 3 — вентиляционно-вспомогательный тоннель, 4, 6 — верхний и нижний обходные тоннели, 5 — ёмкости; б. 1 — наклонный транспортный тоннель, 2 — спиральный съезд, 3 — вертикальный вентиляционно-вспомогательный ствол, 4 — ёмкости, 5 — подводящие тоннели

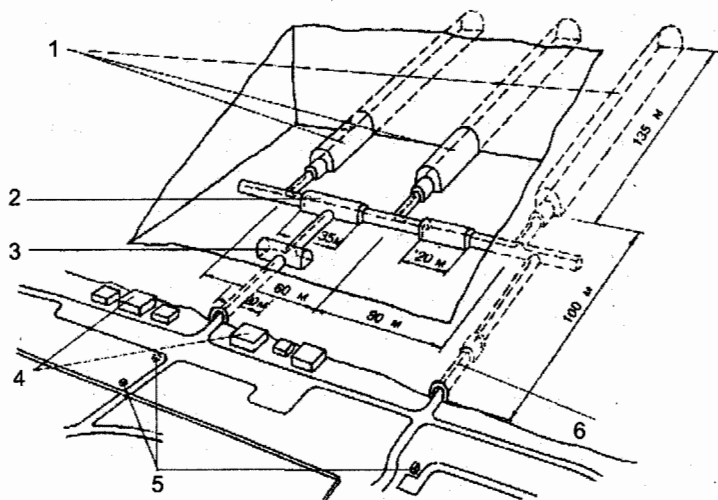


Рис. 2.109. Нефтехранилище горизонтального типа вместимостью около 170 тыс. м³:

1 — тоннели-хранилища, 2 — напорный трубопровод, 3 — противопожарная воздушная камера, 4 — высоконапорная насосная станция, 5 — технические помещения, 6 — запасной выход

В Швеции к 1979 году была построена система подземных хранилищ суммарным объёмом 4,4 млн. м³. Удельные затраты для подземных бензохранилищ примерно в 2,5 раза ниже, чем для наземных стальных резервуаров [Обзор подземных хранилищ нефти и газа, 1988].

В Финляндии уже к середине 1970-х годов вместимость подземных хранилищ нефти превысила 3 млн м³, нефтепродуктов — 1,9 млн м³.

В большинстве случаев для хранения нефти и жидких нефтепродуктов используются две схемы расположения ёмкостей:

1. вертикальная типа «Политанк» (рис. 2.108);
2. горизонтальная (рис. 2.109).

На рис. 2.109 показано подземное хранилище промышленного бензина полезным объёмом около 170 тыс. м³. Хранилище состоит из трех связанных между собой параллельно расположенных камерных выработок длиной 180 м, шириной 14 м и высотой 21 м.

2.6.2. Хранилища вредных и радиоактивных отходов

Кроме хранения жидких и газообразных агрессивных химических веществ, подземные выработки нередко используются для захоронения промышленных и радиоактивных отходов. Это связано с тем, что подземные хранилища имеют ряд несомненных преимуществ с точки зрения обеспечения безопасности хранения агрессивных сред по сравнению с аналогичными наземными сооружениями. С этой целью используют массивы прочных необводнённых горных пород со слабой водопроницаемостью (граниты, базальты, диабазы, габбро, гнейсы), а также массивы глин и каменных солей. Наиболее оптимальным является использование отработанных шахт и рудников по добыче полезных ископаемых, расположенных в массивах скальных изверженных нетрещиноватых горных пород на глубине свыше 1 км (рис. 2.110). Несмотря на то, что под воздействием радиации происходят изменения физико-механических свойств горных пород, понижается устойчивость массива по отношению к внешним воздействиям, повышается уровень радиоактивности, снижается стойкость бетона по отношению к химической агрессии и возникает возможность химического и радиоактивного загрязнения

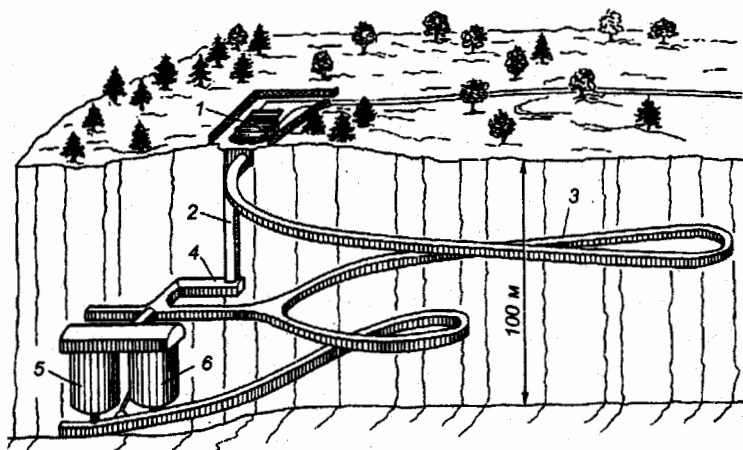


Рис. 2.110. Общий вид хранилища для низко- и среднеактивных отходов: 1 — наземное здание хранилища, 2 — вертикальная шахта, 3 — подходный наклонный тоннель, 4 — технические помещения, 5 — бункер для битумизированных отходов, 6 — бункер для низкоактивных отходов

подземных вод, тем не менее, согласно «Шкале событий на АЭС», разработанной и действующей в МАГАТЭ, при подземном размещении ядерных энергоблоков уровень экологического воздействия снижается, примерно, на три порядка по сравнению с традиционными АЭС, располагаемыми на поверхности.

Для хранения отработанного ядерного топлива могут использоваться хранилища бассейного типа. На рис. 2.111 приводится схема такого хранилища объёмом около 2000 м³. Общая длина сооружения — около 70 м, длина бассейнов около 60 м, ширина — около 3 м, глубина — около 6 м. Конструктивно хранилище представляет собой две прямоугольные камеры, облицованные изнутри сталью. Отработанное топливо хранится в ёмкостях под защитным слоем воды.

На рис. 2.112 представлена принципиальная схема подземного сооружения, предназначенного для длительного хранения ядерных энергетических установок морских судов.

Наибольшую опасность при длительном хранении радиоактивных отходов представляют:

возможность самопроизвольной неуправляемой ядерной реакции, сопровождающейся повышенными температурой и давле-

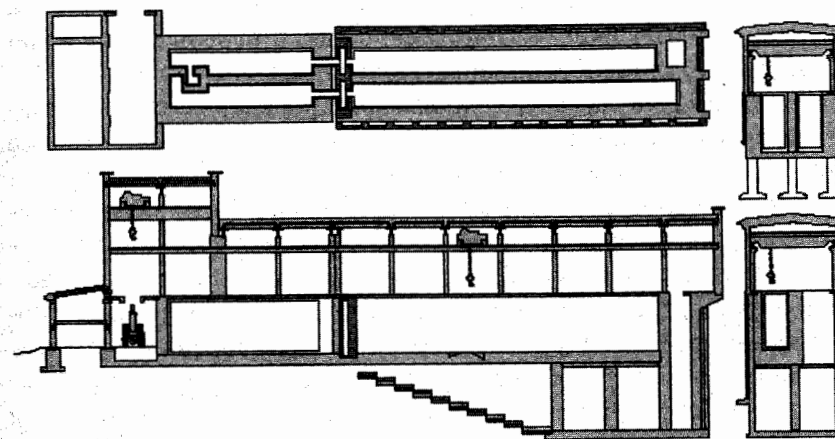


Рис. 2.111. Хранилище бассейного типа для длительного хранения отработанного ядерного топлива

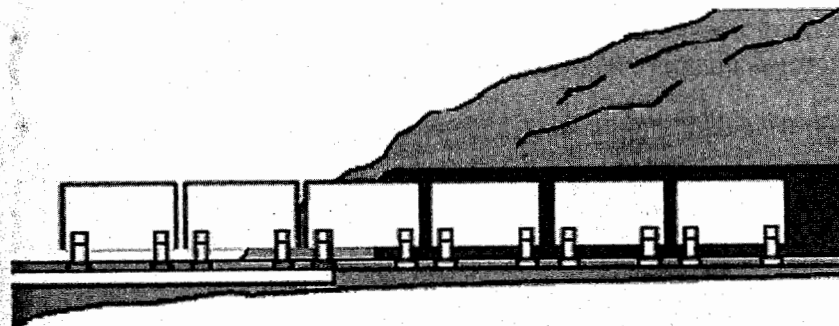


Рис. 2.112. Хранилище ядерных энергетических установок морских судов

нием на конструктивные элементы сооружений, пожарами, взрывами. Всё это влечет за собой выбросы радиоактивных материалов на поверхность и повышение радиоактивности в районе, прилегающем к хранилищу;

возможность утечки радиоактивности без возникновения неуправляемых ядерных реакций. Причинами этого могут быть: нарушение гидроизоляции при хранении жидких радиоактивных отходов или проникновение в хранилище грунтовых вод, нарушение изоляционных свойств конструкций и т.п.;

природные и техногенные аварии: ураганы, штормы, оползни, обвалы, сейсмические воздействия, ошибки персонала, падения космических тел и летательных аппаратов, диверсии и т.п.

В связи с выше перечисленным при проектировании и строительстве подземных АЭС и могильников радиоактивных отходов принимается, что крепь или обделка сооружения должны воспринимать более половины силовых, радиационных и термических нагрузок, включая экстремальные, возникающие при аварийных ситуациях. Оптимальная глубина заложения таких сооружений определяется условием долговременного обеспечения геоэкологической и радиационной безопасности ядерного объекта. Применяемые строительные материалы должны служить надёжной и долговременной биологической защитой от радиации. Для этого можно использовать полимербетоны, армополимербетоны и пропитку скальной породы полимерами [Барбакадзе, Мураками, 1989]. Эти материалы обеспечивают надёжность работы системы «сооружение — вмещающий массив» и обладают повышенной несущей способностью, водонепроницаемостью, коррозионной стойкостью и долговечностью (рис. 2.113).

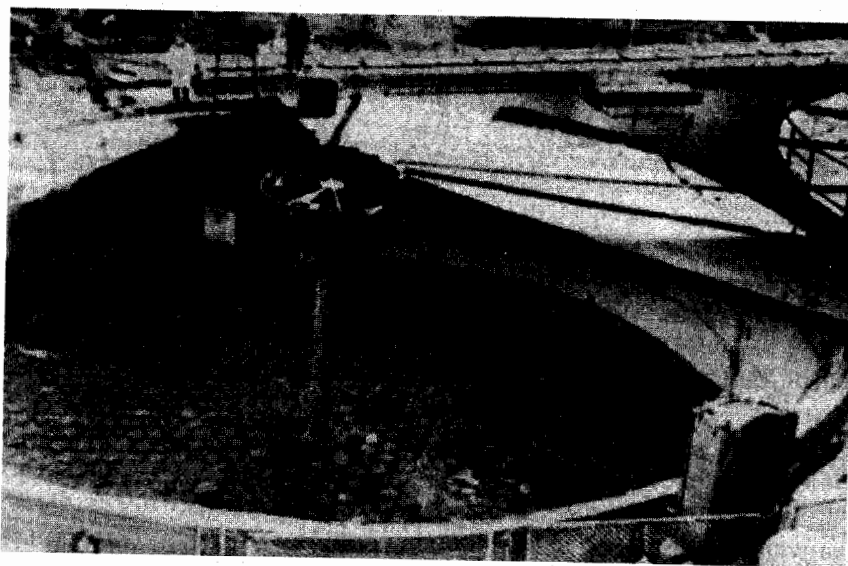


Рис. 2.113. Ёмкость для хранения радиоактивных отходов

2.6.3. Холодильники, архивы, другие виды подземных хранилищ

Подземные выработки используются не только для хранения вредных и агрессивных сред. Под землёй могут располагаться библиотечные хранилища, архивы, склады различных изделий и материалов.

При правильном подборе параметров системы вентиляции подземные выработки могут использоваться для хранения различных видов документации, кино-, фото-, видеоматериалов и т.п. Для связи с поверхностью, доставки людей и материалов используются лифтовые шахты, рельсовые и автотранспортные тоннели с площадками для разворота транспортных средств и их разгрузки.

При проектировании архивных помещений значительное внимание уделяется гидроизоляции и системам пожаротушения. В комплексе работ по гидроизоляции сооружения проводят укрепительную цементацию, инъецирование химическими растворами, устройство дренажа.

Кроме системы пожаротушения должны быть предусмотрены эвакуационные выходы и устройства удаления дыма.

В 1985 году в Хельсинки был принят в эксплуатацию подземный автоматизированный склад со складированием упакованных изделий по высоте (рис. 2.114). Объём складских поме-

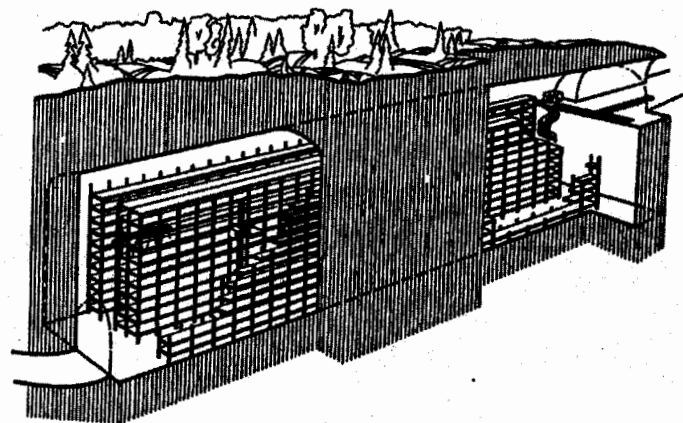


Рис. 2.114. Разрез по подземному автоматизированному складу

щений составляет 12,2 тыс. м³. Продукция одного из предприятий «Шелл», которому принадлежит хранилище, в специальных поддонах на рельсовом ходу поступает на склад. По вертикали поддоны распределяются автоматизированными подъёмниками.

Там же в Хельсинки построено подземное хранилище банка крови Финского Красного Креста. Сооружение состоит из трёх тоннелей длиной 90 м, шириной 10 м и высотой 6 м каждый. Отдельно построен морозильник площадью 250 м², в котором постоянно поддерживается температура –40 °С. Для внутрискладских перевозок материалов используются автокары.

В Москве запроектировано и построено фондохранилище музея им. А.С. Пушкина, имеющее 5 наземных и 3 подземных этажа.

В штате Пенсильвания (США) ведётся строительство Национального подземного хранилища, располагаемого в отработанных известковых шахтах на глубине порядка 70 м. В хранилище, предназначенном для хранения различных видов архивов, в частности, кино- и фотодокументов, будет поддерживаться постоянная температура 20 °С и влажность 35 %.

На рис. 2.115 показаны разрезы по складам песка и других строительных материалов. Аналогичные бункеры используются для хранения солевых и химических смесей для посыпки обледенелых дорог. Типовой объем таких бункеров составляет 1000–4000 м³. В настоящее время существуют типовые решения таких хранилищ, включающих в себя, кроме склада песка, агрегаты для обработки раствора соли и бункеры для её складирования.

Такие же бункеры используются для хранения щебня и щепы.

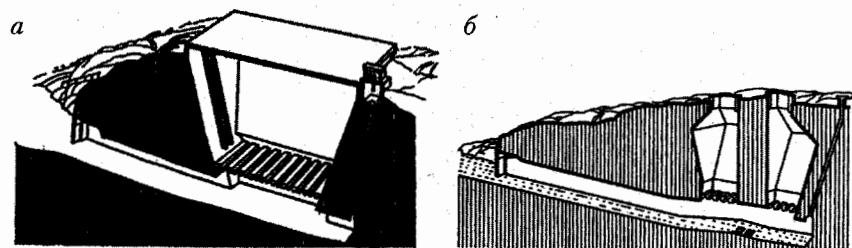


Рис. 2.115. Разрез по однобункерному (а) и двухбункерному двухконусному (б) складам

2.7. Инженерные сооружения

2.7.1. Инженерные подземные сети

Подземные инженерные сети, прокладываемые в городах, по характеру их использования подразделяются на магистральные и уличные, внутриквартальные и дворовые.

1. *Магистральные и уличные.* К ним, в первую очередь, относятся трубопроводы больших диаметров:

водоводы, уличные водопроводные, магистральные и разводящие линии;

фекальные канализационные линии и коллекторы;

коллекторы ливневой канализации;

магистральные теплопроводы и разводящая сеть;

газопроводы магистральные, распределительные (включая разветвления) и отводы к потребителям;

сети электроснабжения высокого, среднего и низкого напряжения.

2. *Внутриквартальные и дворовые.* Включают в себя внутриквартальные разводящие сети и вводы в здания.

Инженерные подземные сети и связанные с ними сооружения, размещаемые на территории микрорайонов, подразделяются следующим образом.

1. Трубопроводы:

водопроводной сети;

горячего водоснабжения;

канализации бытовых и сточных вод;

канализации дождевых и талых вод (ливневой канализации);

дренажей;

тепловых сетей;

газоснабжения.

2. Кабели электрических сетей высокого, среднего и низкого напряжения.

3. Проходные и полупроходные каналы для совмещения прокладки трубопроводов и кабелей различного назначения.

4. Непроходные каналы тепловых разводящих сетей.

5. Непроходные каналы (сцепки) для совмещённой прокладки разводящих труб теплосети холодного и горячего водоснабжения.

При строительстве и реконструкции жилых районов и микрорайонов производится комплексное проектирование подземных инженерных сетей с учётом начертания улично-дорожной сети города, размещения крупных потребителей, характера рельефа местности и т.д. Трассирование подземных сетей выполняется с учетом планировки микрорайона, расположения существующих подземных сетей и сооружений, рельефа местности и грунтовых условий. Способ прокладки подземных инженерных сетей выбирают с учетом строительных и эксплуатационных затрат, особенностей местных условий и т.п.

Для прокладки подземных коммуникаций составляют план совмещенных трасс коммуникаций и сетей, размещаемых, как правило, вдоль магистральных улиц прямолинейно и параллельно линиям застройки, с минимально возможной длиной линии. Глубину заложения назначают в зависимости от технологических особенностей, с учетом ряда факторов, влияющих на условия работы подземных сетей.

Размещение инженерных коммуникаций относительно поверхности земли определяется в соответствии со СНиП 2.07.01-89*. При совмещенной прокладке трубопроводов в одной траншее или в канале разрывы между трубопроводами сокращаются до минимально необходимых для монтажа и ремонта сетей.

Расположение подземных инженерных сетей зависит от способа их размещения под городскими улицами и на территории микрорайона. Обычно применяются следующие способы размещения: в грунте, каналах и коллекторах, технических подпольях зданий.

В общих коллекторах размещают сети водопровода, теплоснабжения, электрические кабели и газовые сети (если коллекторы оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией и автоматической сигнализацией) (рис. 2.116).

Унифицированные размеры общих коллекторов принимают следующими: высота $180 \div 300$ см с интервалом 30 см; ширина $170 \div 270$ см с интервалом 20 см. При большом количестве сетей или при больших диаметрах трубопроводов сооружают двухсекционные коллекторы (рис. 2.117).

В плане проектирование общих коллекторов должно проводиться параллельно красной линии или оси проезжей части, под

тротуарами, зелёными полосами и в отведённых технических зонах.

Глубину заложения коллекторов назначают, исходя из проектных отметок вертикальной планировки территории, несущей способности их конструкций и условий температурного режима. Продольный профиль коллектора проектируется таким образом, чтобы обеспечить самотечный сток аварийных и грунтовых вод. По всей длине коллектора предусматривают водосточную канавку. Внутренние габариты принимают исходя из условий осмотра и ремонта инженерных сетей,

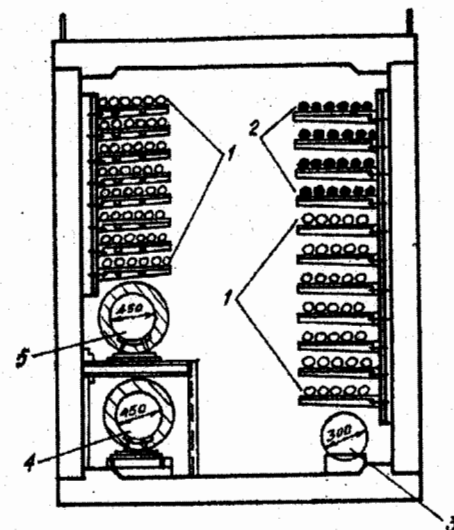


Рис. 2.116. Проходной односекционный коллектор:

1 — кабели связи, 2 — электрические кабели, 3 — водопровод, 4 — подающий теплопровод, 5 — обратный теплопровод

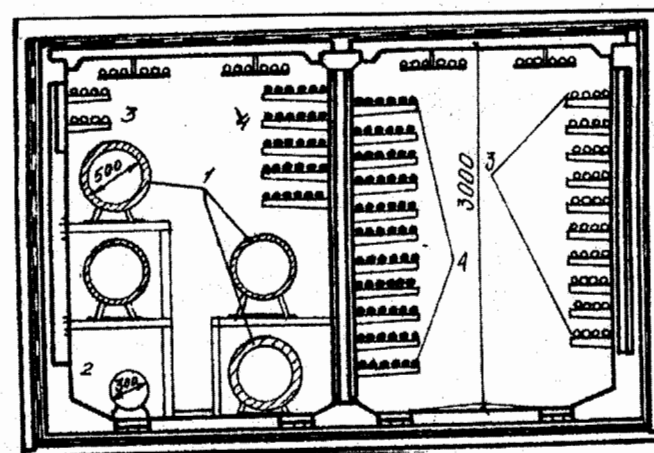


Рис. 2.117. Двухсекционный коллектор из сборных элементов:

1 — трубопроводы теплоснабжения, 2 — водопровод, 3 — кабели связи, 4 — электрические кабели

но не менее: 180 см — высота прохода в свету, 80 см — ширина прохода.

В последние годы в отечественном и зарубежном тоннелестроении наметилась тенденция к проектированию и строительству коллекторных тоннелей глубокого заложения [Саари, Рейнисто, Лайне, 1993; Курносов, Харитоненко, 1997; Datteln, 1998; Лернер, Петренко, 1999]. Исследования, проведённые ещё в 1978 году финскими учёными, показали, что прокладка теплофикационных сетей в тоннелях более выгодна по сравнению с обычно применяемыми способами. В этом случае уменьшаются потери тепла при передаче, возникает возможность, по мере необходимости, наращивать объёмы теплопередачи за счёт прокладки в тоннеле дополнительных трубопроводов, сокращается длина пути теплопередачи. На рис. 2.118 приводится сравнение вариантов прокладки теплосети в г. Турку (Финляндия): тоннель глубокого заложения и коллектор мелкого заложения.

Для обслуживания и контроля за состоянием таких тоннелей в Германии разработаны специальные конструкции колодцев и шахт, обеспечивающие их повышенную надёжность. Конструкция смотровой шахты диаметром 135 + 180 см включает малогабаритное закрытое надшахтное строение, оборудованное необходимой контрольно-измерительной аппаратурой, соответствующей

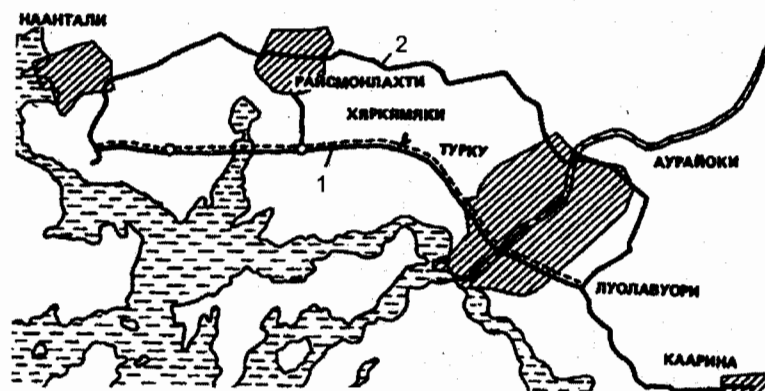


Рис. 2.118. Сравнение вариантов прокладки теплосети. Турку, Финляндия:

1 — тоннель глубокого заложения, 2 — коллектор мелкого заложения

щей требованиям государственных норм и рассчитанной на длительные сроки безаварийной эксплуатации.

Институтом Мосинжпроект для прокладки коллекторных тоннелей используются щиты диаметром 3,6 м и 4 м. Обделка тоннелей возводится из сборных железобетонных блоков. Для повышения водонепроницаемости тоннеля швы между блоками зачеканиваются специальным раствором на основе водонепроницаемых быстротвердеющих цементов. После гидроизоляции швов и тампонирувания возводится внутренняя обделка из монолитного гидротехнического бетона (рис. 2.119). Между монолитной железобетонной рубашкой и сборными блоками может укладываться теплоизоляция.

Составной частью схем теплоснабжения являются камеры тепловых сетей. Камеры возводятся из монолитного или сборного железобетона. С внешней стороны стен и днища укладывают теплоизоляцию.

В Москве на глубине порядка 30–35 м (рис. 2.120) построен канализационный коллектор от гостиницы «Метрополь» до Котельнической набережной. Коллектор диаметром 4 м состоит из 2-х участков: от Новой площади до гостиницы «Метрополь», протяжённостью 358 м, и от Славянской площади (бывш. Старая площадь) до Котельнической набережной, протяжённостью 880 м. Промежуточный участок длиной 653 м был выполнен ранее. Вследствие того, что тоннель проходит под р. Яуза и

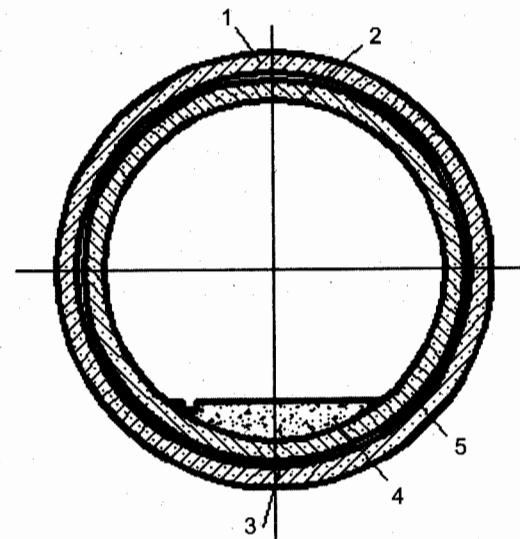


Рис. 2.119. Конструкция тоннеля щитовой прокладки (диаметр 4 м):

1 — наружная обделка из железобетонных блоков, 2 — внутренняя обделка из монолитного гидротехнического бетона, 3 — гидроизоляция, 4 — торкретбетон, 5 — бетонный пол

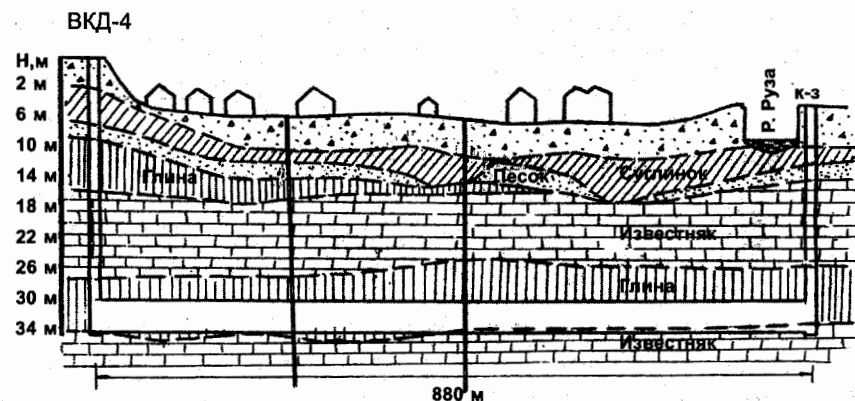


Рис. 2.120. Геологический разрез по участку строительства коллекторного тоннеля глубокого заложения в Москве [Неретин, Бузов, 2001]

по всей его трассе размещены жилые и административные здания, в частности: Минтопэнерго, Военная Академия, поликлиника, РАО «ЕЭС России»; была организована наземная геодезическая сеть для контроля за осадками дневной поверхности и деформациями зданий. Вдоль всей трассы тоннеля на каждом здании по определённой схеме устанавливались репера для наблюдения за состоянием самих зданий и их фундаментов; для наблюдения за просадками дневной поверхности устанавливались грунтовые репера. Проведённые измерения показали, что осадки зданий и сооружений по трассе тоннеля и вблизи неё практически отсутствовали.

2.7.2. Системы теплоснабжения и теплоаккумулирующие ёмкости

За рубежом уже более 30 лет эксплуатируются подземные теплоаккумулирующие ёмкости, представляющие собой изолированные резервуары объёмом от 10 тыс. до 100 тыс. м³. Теплоаккумулирующие свойства скального массива позволяют в течение длительного времени сохранять постоянную температуру воды в резервуарах. Чаще всего используют одно из трёх компоновочных решений:

резервуары мелкого заложения, устраиваемые открытыми способами с применением теплоизоляционных материалов (рис. 2.121, а);

подземные выработки в прочном, плотном, водонепроницаемом скальном массиве (рис. 2.121, б);

система изолированных скважин (рис. 2.121, в).

В г. Керава (Финляндия) с 1983 года эксплуатируется «солнечная деревня», представляющая собой микрорайон из 44 коттеджей. На крышах домов установлены солнечные батареи-накопители с жидкостной циркуляцией. От них тепло передаётся в теплоаккумулирующую ёмкость, представляющую собой подземный резервуар в виде цилиндра диаметром около 10 м, высотой около 20 м и объёмом 1500 м³ (рис. 2.122). Выработка шахтного типа пройдена в прочном скальном массиве без закрепления стен и днища. Самообеспеченность такой системы составляет 50–70 %. Дополнительный подогрев воды производится электронагревательными устройствами. Из резервуара тепло по системе скважин, тоннелей и трубопроводов равномерно распределяется по посёлку.

Широкое применение подземные теплоаккумулирующие ёмкости нашли в Швеции. В частности, в 1983 году в г. Луму возведено крупнейшее в мире скважинное теплохрани-

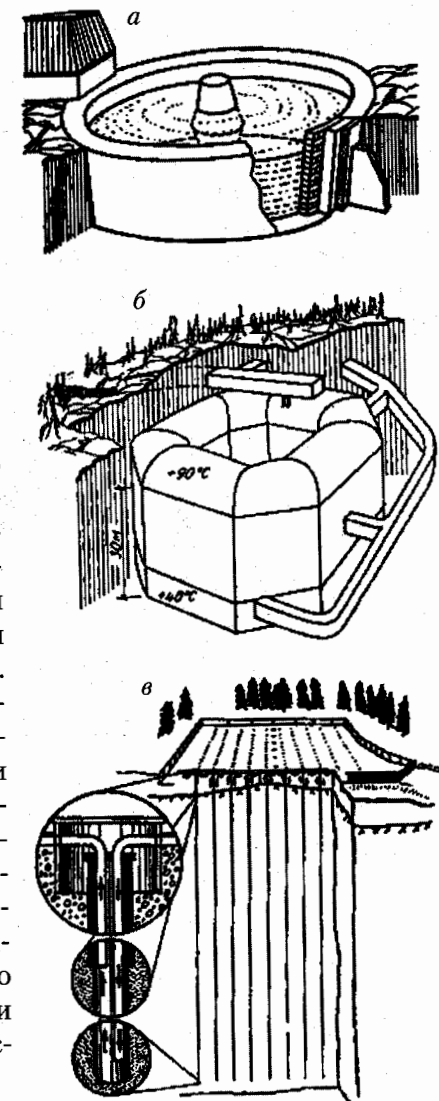


Рис. 2.121. Схемы устройства теплоаккумулирующих ёмкостей в скальных породах:
а — резервуар мелкого заложения;
б — резервуар глубокого заложения;
в — система изолированных скважин

лище объёмом 100 тыс. м³ (см. рис. 2.121, в). Хранилище используется для сезонного аккумулирования тепла, получаемого от сталеплавильного завода.

Аналогичные подземные теплоаккумуляторы разработаны в нашей стране в ЭНИН им. Г.М. Кржижановского. Они предназначены для создания систем сезонного аккумулирования тепла компрессорных станций в подземных водоносных горизонтах. Аккумуляция тепла осуществляется в водоносном пласте мощностью не менее 10 м, расположенном на глубине до 500 м. Водоносный горизонт должен быть окружён водоупорными пластами.

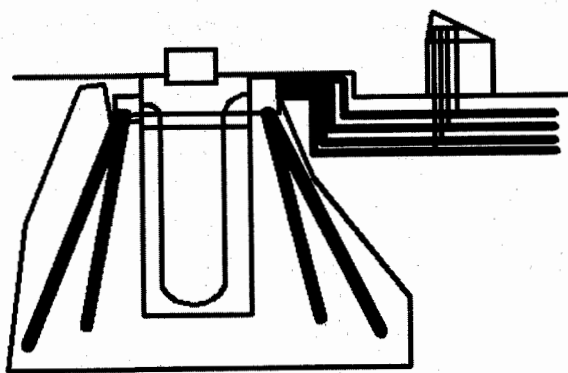


Рис. 2.122. Система отопления и теплоаккумулирующая ёмкость «солнечной деревни». Керава, Финляндия

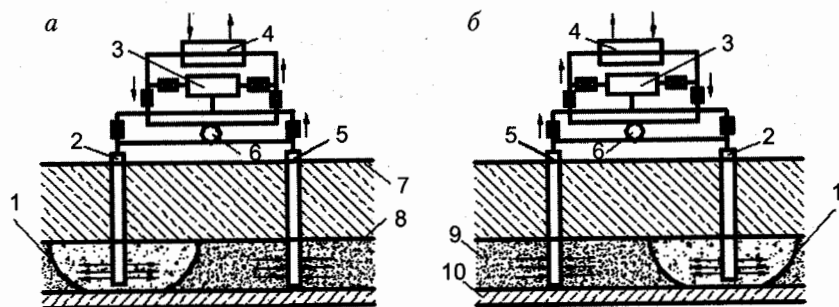


Рис. 2.123. Подземный аккумулятор тепла:
1 — тепловой фронт, 2 — эксплуатационная скважина, 3 — водоподготовка, 4 — теплообменник, 5 — разгрузочная скважина, 6 — насос, 7 — дневная поверхность, 8, 10 — верхняя и нижняя граница водоупоров, 9 — водоносный горизонт

При работе такого аккумулятора в режиме зарядки горячая вода от компрессорной станции нагнетается в пласт по эксплуатационной скважине (рис. 2.123, а). Для снижения давления нагнетания и повышения приемистости водоносного горизонта используется разгрузочная скважина.

При работе теплоаккумулятора в режиме разряда (2.123, б), горячая вода из пласта откачивается по эксплуатационной скважине и после водоподготовки поступает в теплообменник, а отсюда тепло отбирается и подаётся к потребителю, а охлаждённая вода закачивается через разгрузочную скважину обратно в пласт. Таким образом, каждая эксплуатационная скважина работает как в режиме извлечения, так и в режиме нагнетания.

2.7.3. Системы водоснабжения и водоотведения

Для отстоя, накопления и хранения питьевой воды нередко используются искусственные подземные ёмкости. Первая такая ёмкость, по-видимому, была создана в Норвегии в 1976—1977 годах. Проведённые норвежскими учёными расчёты показывают, что при объёме ёмкости более 8 тыс. м³ подземные хранилища оказываются дешевле наземных, устраиваемых в виде стальных или железобетонных резервуаров. На рис. 2.124 приводится план подземного водохранилища объёмом 24 тыс. м³.

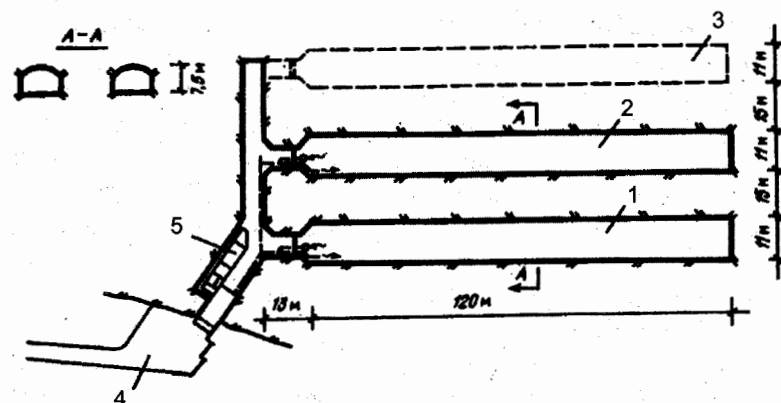


Рис. 2.124. План подземного водохранилища. Квенберг, Норвегия:
1 — резервуар № 1; 2 — резервуар № 2; 3 — резервуар № 3; 4 — вход; 5 — служебные помещения

Такие водохранилища стараются располагать на незастроенных территориях, в прочных скальных массивах, ниже уровня грунтовых вод. Все нарушения сплошности в массиве закрепляются цементацией или химическими методами, нередко даже в очень прочных скальных породах выработку закрепляют и гидроизолируют набрызгбетоном. Кроме резервуаров, в состав подземного водохранилища входят: насосная станция, очистные сооружения, склады химических реагентов, ремонтные мастерские и др. помещения. Все служебные помещения проектируют с учётом изоляции от возможного проникновения в них грунтовых вод и загрязняющих веществ. Для разработки породы чаще всего используют механизированный способ или контурное взрывание.

Из резервуаров вода по водопроводным тоннелям подаётся в городскую систему водоснабжения. Использование в системах водоснабжения гидротехнических тоннелей, проходимых закрытыми способами, имеет следующие преимущества:

- при проходке не нарушается дневная поверхность, сохраняется инженерное благоустройство территории, не нарушаются условия движения наземного транспорта;

- тоннели не подвергаются динамическим, климатическим и температурным нагрузкам и воздействиям, что приводит к увеличению надёжности и сроков службы;

- не создаются неудобства населению, проживающему в районе строительства.

В Хельсинки (Финляндия) построены более 50 магистральных и разводящих водопроводных тоннелей с площадью поперечного сечения от 2 м^2 до 21 м^2 . Тоннели небольшого сечения используются как водопроводящие, а сечением более 13 м^2 — как коллекторы с несколькими трубопроводами диаметром от 40 до 100 см.

Водопроводящие тоннели могут применяться не только для водоснабжения, но и для отвода сточных вод и канализации. Они обычно устраиваются самотёчными, с уклоном $10 \div 30 \text{ ‰}$ и площадью поперечного сечения до 12 м^2 . Использование в канализационной сети безнапорных тоннелей имеет следующие преимущества по сравнению с трубопроводами:

- большая пропускная способность;

- возможность уравнивания резких колебаний давления потока вследствие большей площади поперечного сечения и предохранения канализационной сети и очистных сооружений от перегрузки;

- значительно более длительный срок эксплуатации;

- свобода выбора трассы и независимость от существующих инженерных сетей, зданий и сооружений;

- тоннель не нарушает дневную поверхность и не ограничивает свободу землепользования.

Для отстаивания сточных вод и выравнивания потоков, препятствующих внезапному увеличению нагрузки на очистные сооружения и проникновению сильно загрязнённых поверхностных вод в водоносные горизонты и водные системы, используются запруды (рис. 2.125). Поток может регулироваться шлюзами, установленными в запруде, или регулируемым подкачиванием.

В системах водоснабжения и водоотведения, кроме тоннелей, нередко используются скважины, в которых устанавливают кислотоупорные стальные трубы. Использование скважин целесообразно при организации наиболее короткой связи тоннеля или подземного резервуара с поверхностью, особенно на участках с геологически неустойчивыми грунтами, при строительстве под железными и автомобильными дорогами, под зданиями и сооружениями или в непосредственной близости от них, в сложных инженерно-геологических условиях.

В странах Скандинавии скважины широко используются для отвода сточных вод и соединения водопроводящих тоннелей друг с другом (рис. 2.126).

В системах водоснабжения, водоотведения и канализации нередко используются подземные насосные и очистные станции, главные задачи которых: минимальное загрязнение окружающей среды, ненарушение

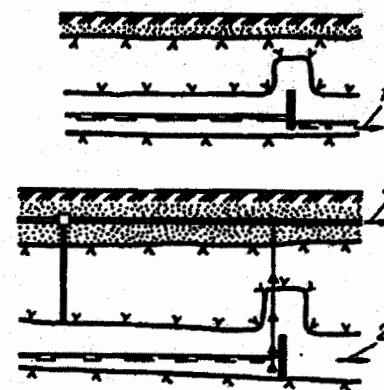


Рис. 2.125. Запруды для выравнивания потоков к очистным сооружениям (1) и сбросных вод (2)

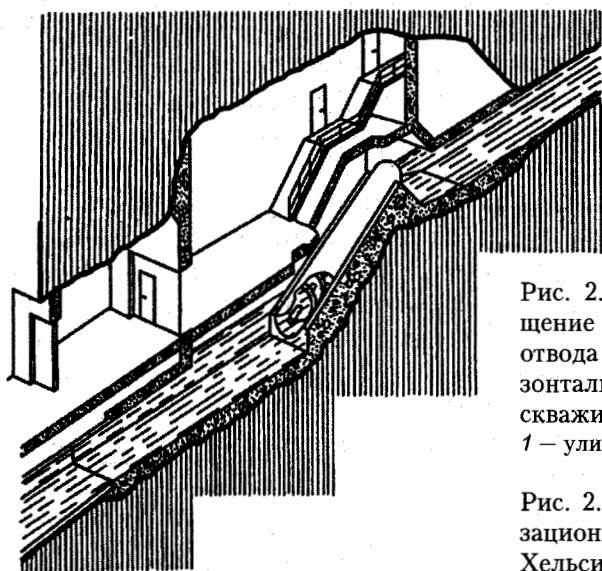
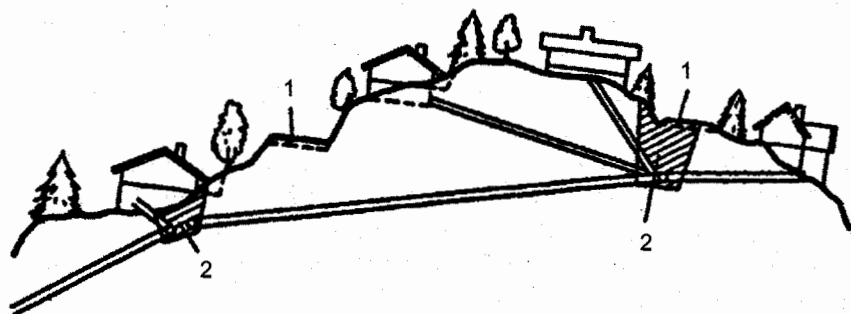


Рис. 2.126 (вверху). Размещение трубопроводов для отвода сточных вод в горизонтальных и наклонных скважинах:
1 — улицы, 2 — колодцы

Рис. 2.127 (внизу). Канализационная насосная станция. Хельсинки, Финляндия

дневной поверхности, максимальная интеграция в инженерные системы города и минимальные затраты на эксплуатацию. Одна из возможных схем канализационной насосной станции приводится на рис. 2.127. В состав станции входят: резервуары-отстойники, аэротенки, сооружения доочистки, вспомогательные и транспортные тоннели и шахты, технические помещения. Очищенные сточные воды отводятся по сбросным тоннелям. В большинстве случаев такие тоннели проектируются самотечными, по возможности, без обделки или с набрызгбетонной крепью.

2.7.4. Дренажные тоннели

Дренажные тоннели (галерейные дренажи) (рис. 2.128) устраиваются в особо ответственных случаях для защиты городских территорий от подтопления, а также наиболее важных подземных сооружений глубокого заложения от проникновения в них

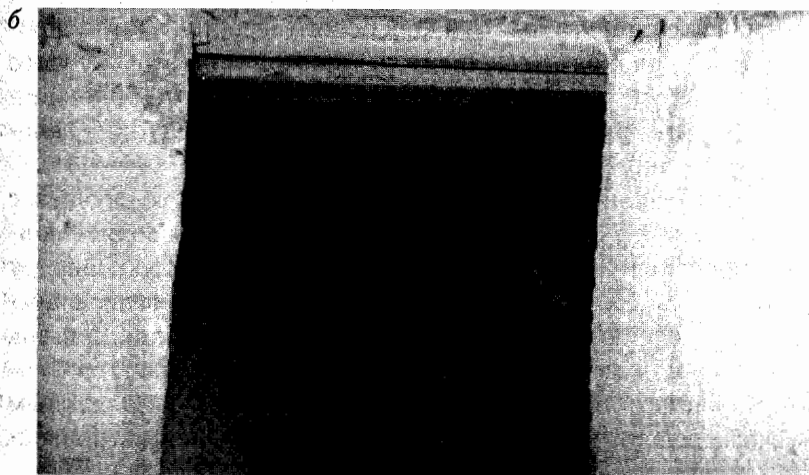


Рис. 2.128. Дренажный тоннель. Москва:
а — водовыпуск, б — внутренний вид

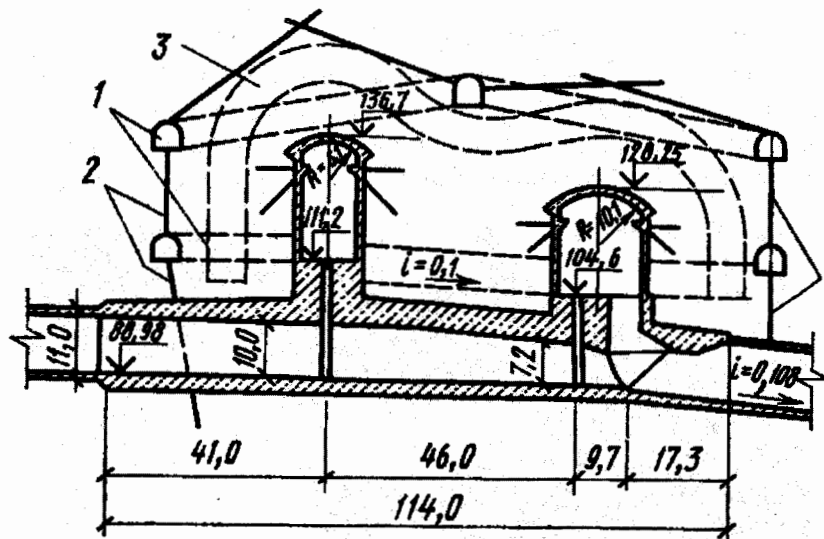


Рис. 2.129. Система галерейных дренажей вокруг камер затворов строительных тоннелей Рогунской ГЭС [Мостков, Орлов, Степанов, 1986]:
1 — дренажный тоннель, 2 — скважинные дрены, 3 — цементационная завеса

грунтовых вод и, при необходимости, обеспечения систематического эксплуатационного надзора. С этой целью используются тоннели и штольны кругового и коробового сечения, а также проходные и полупроходные коллекторы прямоугольного, круглого или эллиптического сечения*. Минимальная высота тоннеля в свету: проходного 1,8 м, полупроходного — 1,2 м. Глубина заложения таких тоннелей составляет не менее 4 + 5 м.

Дренажные тоннели устраиваются, в большинстве случаев, с верхней стороны фильтрационного потока, что позволяет наиболее эффективно перехватить грунтовые воды, либо по контуру сооружения. В зависимости от местных условий, системы дренажных тоннелей в плане могут быть прямо- и криволинейными, замкнутыми или незамкнутыми. В большинстве случаев, особенно в однородных породах, стараются ограничиться одноярусным дренажом, однако, при наличии нескольких водоносных горизон-

* Для удобства изложения в дальнейшем будем называть все перечисленные сооружения общим термином — «дренажные тоннели».

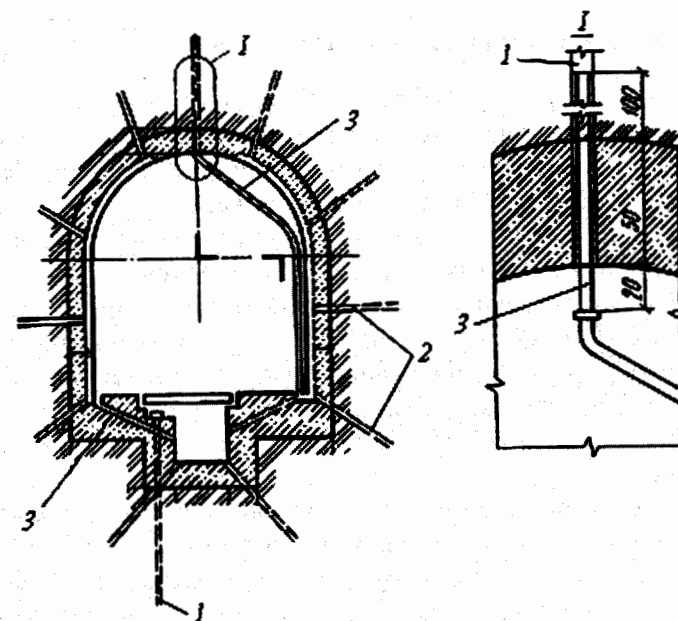


Рис. 2.130. Дренажный тоннель:
1 — скважинные дрены, 2 — шпуровые дрены, 3 — водоотводные трубы

тов, может применяться многоярусное расположение дренажных тоннелей (рис. 2.129).

В устойчивых породах дренажные тоннели стараются оставлять без обделки. В остальных породах обделку выполняют из пористого малоцементного бетона или из сборных блоков. Лоток бетонируют и устраивают водоотводную канавку.

Стены тоннелей в нижней части делают с водоприёмными щелями, заполненными пористыми материалами. Вокруг тоннелей укладывают фильтрующую обсыпку из крупнозернистого песка и гравия. Для повышения водозахватной способности и расширения радиуса действия галерейного дренажа в своде и стенах туннеля пробуриваются шпур (длиной 1,5 + 3,5 м) и каптажные скважины (длиной 10 + 50 м, иногда до 100 м) (рис. 2.130).

Во избежание замерзания воды в зимний период дренажные тоннели оборудуют дверями и, при необходимости, утепляют по длине.

2.8. Сооружения специального назначения

Подземные горные выработки, особенно пройденные в скальных породах, обладают высокой сейсмоустойчивостью и естественными защитными свойствами от всех поражающих факторов ядерного взрыва. По оценкам американских специалистов, наиболее целесообразно размещать под землёй важные производственные предприятия, стратегические запасы газонефтепродуктов, продовольствия и объекты энергетики. Например, в штате Колорадо (США) на глубине 700 м в гранитах построен подземный центр управления военно-воздушными силами США, состоящий из шести камерных выработок: три — длиной 180 м, шириной 14 м и высотой 18 м, и три другие — длиной 100 м, шириной и высотой по 17 м.

Основные повреждения подземных объектов происходят под действием сейсмовзрывных волн при подземном ядерном взрыве. Поражающее действие сейсмовзрывной волны заключается в резком смещении грунта, оказывающем давление на сооружение и вызывающем его деформации. В результате происходит разрушение или повреждение подземных сооружений, ранения и гибель находящихся в них людей.

При распространении сейсмовзрывной волны в долине, сложенной осадочными породами различного сложения и мощности, происходят:

усиление колебаний рыхлых пород, залегающих вблизи поверхности;

частотно-избирательное усиление сейсмических колебаний в толще осадочных пород, лежащих на твёрдом основании;

локальное усиление колебаний, вызванное фокусировкой сейсмических лучей, в грунтовых массивах с наклонной нижней границей.

На распространение сейсмических колебаний влияет изменение упругих и прочностных свойств грунтов и появление дополнительной границы раздела между нижележащими водонасыщенными и вышележащими сухими породами.

Сооружения гражданской обороны — это, в большинстве случаев, специально приспособленные подземные объекты, предназначенные для защиты укрывающихся в них людей на случай

чрезвычайных ситуаций, природных и техногенных катастроф, а также на особый период. В качестве убежищ могут использоваться специально возведённые для этого объекты, а также различные подземные сооружения промышленного и гражданского назначения — тоннели и станции метрополитена, подземные гаражи и автостоянки, спортивные, зрелищные сооружения и проч. В Финляндии накоплен значительный опыт размещения автостоянок, спортивных и зрелищных объектов в подземных убежищах, устроенных в массивах горных пород. Такие убежища в мирное время могут использоваться как бассейны, ледовые площадки, театры, концертные залы, другие комплексные спортивные и зрелищные объекты. Например, убежище в г. Хельсинки, рассчитанное на 10 500 человек, в мирное время используется в качестве автостоянки на 500 автомашин (рис. 2.131). Убежище в г. Эспоо, рассчитанное на 2 750 чел., расположено в центре города в непосредственной близости от железнодорожной станции и учреждений. В мирное время убежище используется как спортивный комплекс, включающий беговую дорожку длиной 85 м, гимнастический зал, залы для метания молота, копья и толкания ядра, помещения для бокса, настольного тенниса и др.

Московский метрополитен во время Второй мировой войны использовался для укрытия населения на время воздушных налётов. С 18 часов движение поездов прекращалось, на платформах размещались лежаки и кровати-раскладушки, на путях укладывались деревянные щиты, в вагонах, стоявших на станциях,

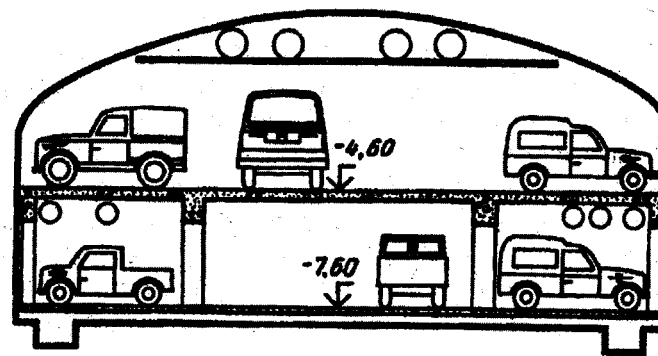


Рис. 2.131. Подземное убежище — автостоянка. Хельсинки, Финляндия



Рис. 2.132. Станция московского метрополитена «Маяковская» во время авиационного налёта

оборудовались медицинские пункты (рис. 2.132). С осени 1941 года на станциях были смонтированы фонтанчики с питьевой водой.

Подземные сооружения, специально предназначенные для размещения объектов гражданской обороны, состоят из основного и вспомогательного помещений (рис. 2.133). Основное помещение используется для укрытия людей и оборудуется нарами или скамейками в несколько ярусов. Вспомогательные помещения — это санитарный узел, фильтровентиляционная камера, медицинская комната, кладовая для продуктов, помещения для артезианской скважины и дизельной электростанции. Убежище должно иметь не менее двух входов или вход и аварийный выход. Во встроенных убежищах входы могут устраиваться с лестничных клеток зданий, либо с улицы. Аварийный выход оборудует-

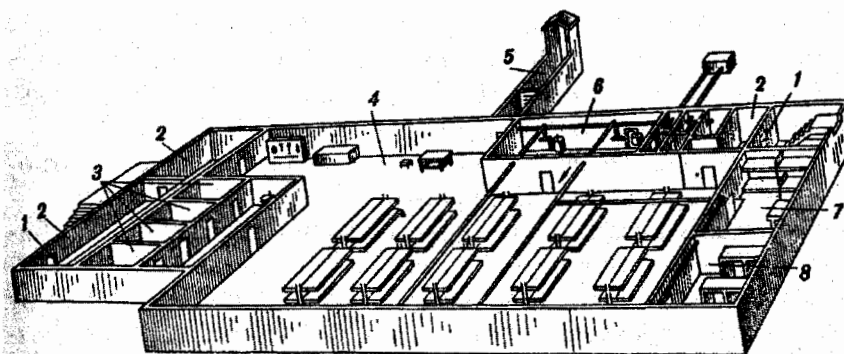


Рис. 2.133. Подземное убежище гражданской обороны:

1 — защитно-герметические двери, 2 — шлюзовые камеры, 3 — санитарно-бытовые отсеки, 4 — основное помещение для размещения людей, 5 — галерея и оголовки аварийного выхода, 6 — фильтровентиляционная камера, 7 — склад продуктов питания, 8 — медицинский пункт

ся в виде тоннеля или галереи, выходящей на незаваливаемую территорию. В сооружениях большой вместимости (более 300 чел.) на входе оборудуется шлюз или тамбур, закрытый с обеих сторон защитно-герметическими дверями, что обеспечивает возможность выхода из убежища без нарушения защитных свойств входа.

Система воздухообмена проектируется на два режима работы: вентиляции и фильтровентиляции. В убежищах, расположенных в пожароопасных районах, предусматривается режим полной изоляции с регенерацией воздуха внутри объекта.

Системы тепло-, энерго-, водоснабжения и канализации связаны с соответствующими инженерными сетями микрорайона. На случай их повреждения предусмотрены автономные аварийные мероприятия по обеспечению электроэнергией, водой и по сбору нечистот. Отопление убежищ предусматривается только от общих отопительных сетей.

В московском районе Кунцево существует сталинский бункер, возведённый в годы войны. В настоящее время над ним находится Центральный региональный центр МЧС. Бункер расположен на глубине 15 метров. Для защиты от авиационных налётов в качестве перекрытий использовались железнодорожные рельсы. По словам специалистов МЧС бункер и сейчас выдержит

прямое попадание авиабомбы. Бункер включает: два входа — лестничный спуск и лифт, соединяющий бункер с дачей Сталина в Кунцево, под которой и было вырыто бомбоубежище; несколько коридоров; зал для совещаний и спальню.

К подземным сооружениям специального назначения относятся и промышленные предприятия оборонного комплекса. Одним из таких предприятий является Горно-химический комбинат в г. Железнодорожск (Красноярск-26), расположенный в горном массиве на восточном берегу Енисея примерно в 50 км от г. Красноярска. Подземное расположение объекта позволяет выдерживать не только бомбардировку с воздуха, но и прямой ядерный удар. Комбинат состоит, примерно, из 20 подразделений, включая несколько ядерных реакторов, радиохимический завод и хранилища твёрдых и жидких радиоактивных отходов. Весь атомный комплекс располагается на глубине около 250–300 м, хранилища жидких отходов заглублены примерно до 500 м от дневной поверхности. К комплексу подходят несколько транспортных тоннелей, включая тоннель под Енисеем протяжённостью около 2 км на глубине порядка 50 м от дна реки.

2.9. Другие подходы к использованию подземного пространства

Постоянные температура и влажность, высокая сейсмоустойчивость, низкая проницаемость и экранирующие свойства горных пород обуславливают использование подземного пространства в самых различных отраслях хозяйственной деятельности человека. В г. Цхалтубо (Грузия), в пос. Солотвино (Закарпатье), на Урале горные выработки и естественные пещеры используются для лечения различных сердечно-сосудистых заболеваний и заболеваний дыхательных путей. Многие сельскохозяйственные культуры, а также бройлеров и рыбу выращивают в отработанных рудниковых шахтах у г. Кривой Рог, вблизи Арзамаса, на Урале, в Кемеровской области, других регионах нашей страны. В последние годы всё более широкое применение находит выращивание в подземных выработках шампиньонов. В условиях подземных хранилищ наиболее полно сохраняются свойства дорогих марочных вин и коньяков.

Нередко подземное пространство используют для размещения объектов научного назначения, в первую очередь — физических лабораторий. Так, в Московской области построен ускорительно-накопительный комплекс, представляющий собой тоннель протяжённостью 23 км и диаметром 5,1 м на глубине 25–60 м. В долине р. Баксан на глубине около 2 км устроена многоцелевая нейтринная лаборатория, состоящая из тоннеля длиной 4 км и двух многоярусных камерных выработок шириной 23,5 м и высотой 16,3 м. Аналогичные подземные установки имеются в Финляндии, Швейцарии, США, других странах. Например, лаборатория—ускоритель Хельсинского университета состоит из наземного здания с мастерскими и научными кабинетами, вертикального шахтного ствола, в котором установлен основной генератор и магнитный анализатор, подземных выработок для размещения различного научно-исследовательского оборудования. В 1957 году запущен в эксплуатацию первый ускоритель частиц в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН — «*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*» (CERN)), расположенном на границе Франции и Швейцарии.

В 1988 году в составе комплекса был возведён новый ускоритель, представляющий собой кольцевой тоннель длиной 27 км на глубине около 100 м (рис. 2.134). В ноябре 2000 года началось переоборудование ускорителя и строительство четырёх экспериментальных установок ATLAS, CMS, ALICE и LHC-B (рис. 2.135)

Около г. Бишкек находится обсерватория института Сейсмологии АН Кыргызстана. Вблизи Хельсинки построен подземный научный комплекс Государственного технического исследовательского центра Финляндии, включающий в свой состав камерные выработки для размещения лабораторий, соединённые системой тоннелей, мастерские, помещения для обслуживающего персонала, контрольный пункт, управляющий системами жизнеобеспечения центра. Общий объём подземного научного комплекса около 125 тыс. м³. Проектом предусмотрено использование помещений центра в качестве убежища на особый период.

Подземное пространство может использоваться не только в научных, но и в учебных целях: в университете штата Миннесота (США) под землёй находятся учебные помещения факультета «Гражданское и шахтное строительство». Они представляют со-



Рис. 2.134. Подземный ускоритель частиц в ЦЕРН. Внутренний вид

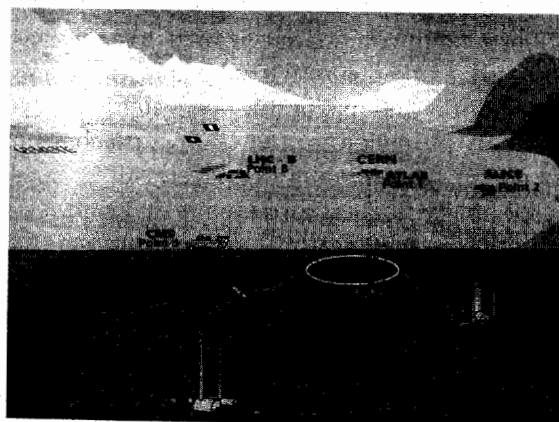


Рис. 2.135. Подземный ускоритель частиц в ЦЕРН. Схема размещения сооружений

бой многоярусное подземное сооружение, расположенное в двух зонах (верхней и нижней), связь между которыми осуществляется через два вертикальных ствола.

Отработанные соляные и известковые шахты используются для размещения нетрадиционных источников электроэнергии. С этой целью в ночное время в подземные ёмкости закачивается воздух, который днём пропускается через турбины электрогенератора. По этому принципу работают две небольшие электростанции, построенные в США и Германии. В настоящее время вблизи города Нортон в Штате Огайо (США) ведётся строительство подземного аккумулятора воздуха для электростанции мощностью 2700 МВт (рис. 2.136). Для этого используется заброшенная известковая шахта, разрабатывавшаяся в период с 1947 по 1976 годы. Предполагается, что в ночные часы и в выходные дни в подземную полость объёмом около 10^7 м³, расположенную на глубине около 1 км, специальными насосами с поверхности земли будет закачиваться сжатый воздух. В дневное время или в случае непредвиденных обстоятельств сжатый воздух будет подаваться на турбины электрогенератора, находящегося на поверхности земли. Главная трудность устройства подобного рода сооружений заключается в обеспечении герметичности внутреннего объёма шахты, водонепроницаемости обделки и способности её конструкций выдерживать внутреннее давление сжатого воздуха.

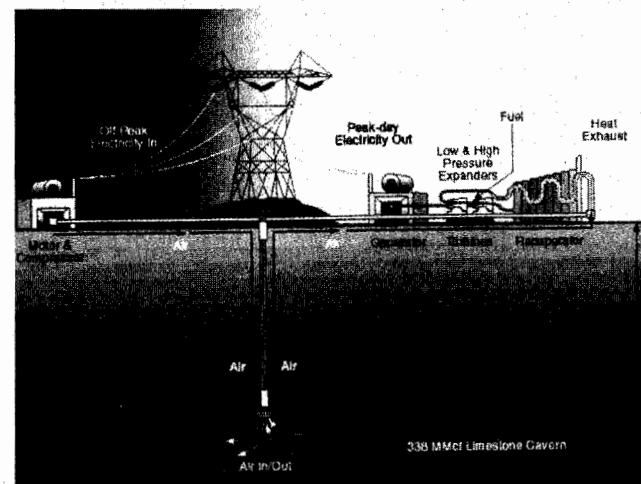


Рис. 2.136. Подземная ёмкость для аккумулярования сжатого воздуха. Огайо, США

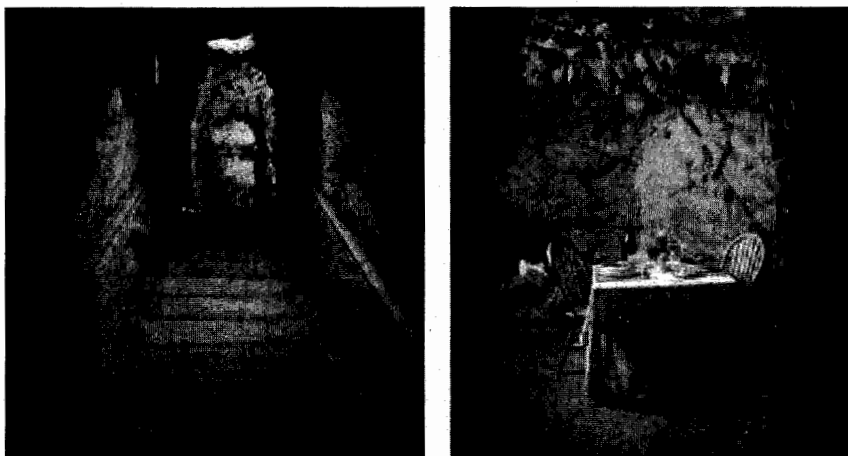


Рис. 2.137. Подземный ресторан. Калифорния, США

Там же, в США, под землёй находится золотохранилище Федерального резервного банка в Нью-Йорке, пройденное в скальных породах на глубине 30 м.

В штате Калифорния под землёй располагается фешенебельный ресторан (рис. 2.137).

В г. Хельсинки разработан проект подземного бассейна объёмом около 9 тыс. м³, предназначенного для таяния снега. Снег должен сбрасываться в бассейн, пройденный в скальных породах, и таять там под воздействием тепла очищенных сточных вод.

Многие подземные сооружения, естественные и искусственные пещеры, горные выработки являются часто посещаемыми туристическими объектами. Например, достаточно недавно в Хельсинки построена подземная церковь Темппелиаукио, ставшая одной из достопримечательностей города. Наиболее известная искусственная пещера Финляндии «Ретретти» входит в состав культурного комплекса с таким же названием. Пещера представляет собой лабиринт ходов, гротов и залов, включая два концертных зала, ресторан, конференц-зал, выставочные залы, помещения для отдыха. Общая площадь подземной части комплекса более 10 тыс. м². Один из концертных залов пещеры «Ретретти» выполнен в виде островка на подземном озере. Отработанные рудники в окрестностях г. Оутокумпу (Финляндия) также исполь-

Рис. 2.138. Экскурсионный грот под Одесским художественным музеем

зуются для посещения туристами. На одном из рудников организован музей горного дела, включающий специально построенный туристический рудник длиной около 250 м.

В Одессе под центральной частью художественного музея находится экскурсионный подземный грот и система ведущих от него в сторону моря и вдоль берега подземных ходов (рис. 2.138).



2.10. Комплексное использование подземного пространства

В настоящее время всё большее внимание в планировке и застройке крупных городов и городов-мегаполисов отдаётся вопросам комплексного освоения и использования подземного пространства, что позволяет оказать влияние на городскую среду, рациональное использование территории, развитие городских транспортных и инженерных систем, жилой и нежилой застройки и других элементов современного городского хозяйства.

Комплексное освоение и использование подземного пространства — это размещение под землёй групп объектов и сооружений, в основном предназначенных для решения следующих проблем: пропуска транспорта и прокладки инженерных коммуникаций, временного и постоянного хранения автотранспорта, объектов инженерного и коммунального обслуживания города, предприятий торговли и т.п. Концепция комплексного освоения подземного пространства подразумевает создание единой взаимосвязанной пространственной системы надземных, наземных и подземных объектов, что позволяет более рационально использовать городскую территорию для размещения различных функцио-

нальных зон и наиболее оптимально организовать транспортную систему, связывающую эти зоны. Такие решения улучшают условия проживания и передвижения людей путём разобщения транспортных и пешеходных потоков, изолируют пешеходов от шума и загрязненного воздуха, повышают уровень культурно-бытового обслуживания населения.

Комплексное использование подземного пространства позволяет сконцентрировать объекты обслуживания населения в тех местах, где не хватает участков для сооружения новых наземных комплексов и там, где необходимо свести к минимуму все переходы, заменить протяжённые горизонтальные связи более короткими вертикальными. Все это позволяет значительно экономить время людей и более рационально использовать городскую территорию.

В соответствии с этим, подземное пространство должно быть предназначено для размещения транспортных систем, вспомогательных помещений, складов, части промышленных и обслуживающих предприятий, в то время как дневная поверхность предназначается для быта и отдыха горожан.

Нередко основой подземной инфраструктуры современного города становится транспортная сеть, и, в первую очередь, система линий метрополитена, увязанная со всеми районами города, остановками всех видов городского и пригородного наземного транспорта, зонами отдыха и культурно-бытового обслуживания населения. Подземные объекты различного назначения могут быть размещены:

по трассе линий метрополитена — над и под перегонными тоннелями и рядом с ними, а также в неиспользуемых при эксплуатации вспомогательных выработках строительного периода: камерах, шахтных стволах, руддорах и т.п.;

в подземных и наземных вестибюлях станций и пересадочных узлов;

в составе многоярусных подземных комплексов.

При проектировании и строительстве перегонных тоннелей метрополитена мелкого заложения вдоль наземных автомагистралей пространство над тоннелями можно использовать для размещения пешеходных и автотранспортных тоннелей, гаражей и автостоянок, предприятий торговли и бытового обслуживания населения.

В качестве примеров комплексного использования подземного пространства могут служить: ТРК «Охотный ряд», комплекс подземных сооружений на Поклонной горе, подземные объекты под зданиями бывшего СЭВ, под высотными зданиями на площадях Восстания и Лермонтовской, а также Котельнической набережной, под гостиничными комплексами «Космос», «Салют», «Измайлово», в Олимпийской деревне, в районе Чертаново, под Комсомольской площадью, под Павелецким и Курским вокзалами в Москве, под улицей Баумана в Казани. Развитая сеть подземных сооружений устроена под гостиницей «Россия». Она включает в себя тоннели для обслуживающего грузового транспорта, склады, холодильники, кухни, заготовочные, гаражи, системы водоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, централизованного пылеудаления, столовые для персонала, кинотеатр и бассейны.

Несколько подземных уровней имеет Кремлёвский Дворец съездов, включая зрительный зал, вестибюль, гардеробные, отдельные фойе. Многие специалисты отмечают чрезвычайно удачное решение интерьеров и оборудования подземных помещений, благодаря которому полностью отсутствует ощущение пребывания под землёй.

Комплекс подземных сооружений входит в градостроительный ансамбль на проспекте Новый Арбат. Под южной стороной проспекта размещен ряд технических, подсобно-вспомогательных и складских помещений, сопутствующих предприятиям торговли, общественного питания и бытового обслуживания. Кроме этого, в первом подземном уровне расположен банкетный зал ресторана «Арбат», пивной бар, демонстрационные залы Дома Одежды. Все эти сооружения обслуживаются автотранспортным тоннелем протяжённостью около 800 м, проходящим под всей южной стороной проспекта. Под зелёной полосой запроектирована трёхъярусная подземная автостоянка.

Под высотным зданием на Лермонтовской площади, кроме станции метро «Красные Ворота», расположены: подземная автостоянка, разгрузочные дворы нескольких магазинов и некоторые другие подземные сооружения. Аналогичные подземные комплексы имеются под многими крупными торговыми центрами Москвы.

В настоящее время разработана концепция реконструкции Китайгородской стены и освоения подземного пространства под Старой и Новой площадями в Москве (рис. 2.139). В контексте общего градостроительного решения данной территории предлагается строительство многофункционального подземного комплекса с внутренней стороны стены, включающего 4–5-ти ярусные подземные автостоянки с шестиполосной проезжей частью над ними. Предполагается снять культурный слой до исторической дневной поверхности вдоль стены и по всему ее фронту провести подземную галерею со светопрозрачным покрытием, соединяющую вестибюли станций метро «Китай-город» и «Лубянка».

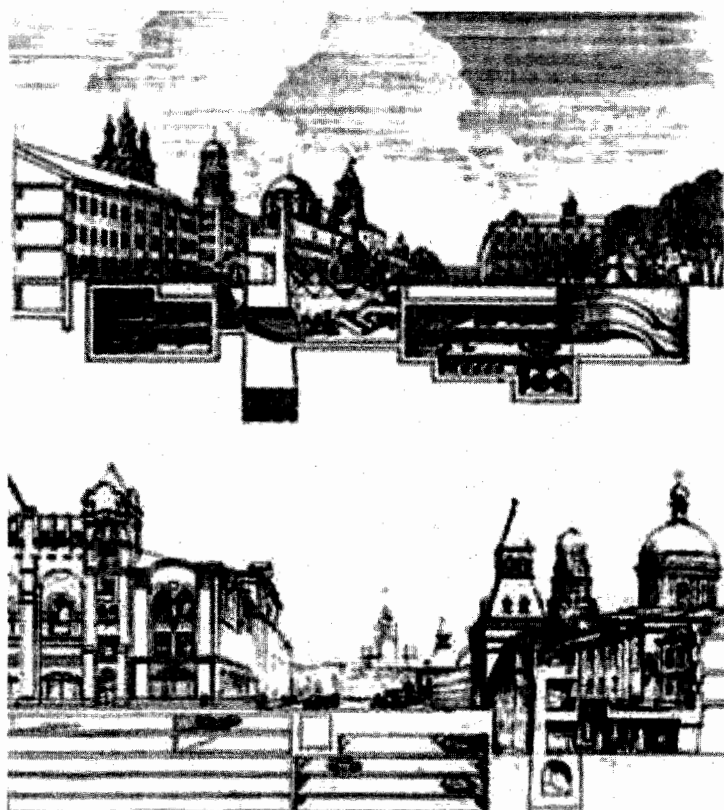


Рис. 2.139. Использование подземного пространства вдоль Китайгородской стены. Проект

Между галереей и автостоянками предусмотрено строительство торгово-обслуживающего комплекса. Аналогичную подземную галерею шириной 4–5 м планируется провести с внутренней стороны стены до существующего тротуара. Полученные подземные сооружения должны быть связаны с подземными пространствами 5-го квартала Китай-города (за Большим Черкасским переулком) [Павлов, 1999].

Современными отечественными и зарубежными архитекторами разрабатываются концепции вертикальных городов будущего как новых, экологически благоприятных систем. По данным НИПИ Генплана г. Москвы под землёй может быть размещено до 70% от общего объёма гаражей и автостоянок, до 60% складских помещений, до 50% архивов и хранилищ, до 30% учреждений культурно-бытового обслуживания, до 3% помещений научно-исследовательских институтов и Высших учебных заведений [Дегтярёв, 1998]. Социологические исследования, проведённые в Японии, показывают, что если в 2000 году доля городского населения страны составляла около 70% населения, то уже к 2005 году она составит около 80% [Лернер, Петренко, 1999]. Масштабная урбанизация требует увеличения полезной площади административных помещений на 150% и изменения общей стратегии градостроительства: вместо централизованной схемы застройки с максимальной плотностью наземных и подземных сооружений в центре города предполагается основную часть объёма многоэтажного наземного строительства, с относительно менее плотным подземным, сосредоточить в пригороде, а в центре города организовать зону с густым озеленением и развитой подземной инфраструктурой. Современными градостроительными концепциями предполагается распределение всех городских подземных сооружений по четырём уровням глубины:

- первый уровень (расположенный на максимально возможной глубине): инженерные коммуникации, эксплуатируемые без постоянного присутствия человека;
- второй уровень: предприятия промышленности и энергетики с постоянным присутствием ограниченного количества квалифицированного персонала;
- третий уровень: транспортные тоннели, гаражи и автостоянки, подсобно-складские помещения, разгрузочные дворы, слу-

жебные коммуникации и т.п. сооружения, кратковременно используемые неограниченным количеством людей;

— четвёртый уровень (предповерхностный): пешеходные зоны и тяготеющие к ним учреждения, магазины, культурно-досуговые центры и др. предприятия торгово-бытового обслуживания населения, постоянно эксплуатируемые и посещаемые неограниченным количеством людей. Подземные пешеходные зоны должны быть полностью изолированы от транспорта.

В связи с этим в Японии разработано несколько проектов городских агломераций. Один из них «Toda Underground Beautiful Environment» («Тода — красивая подземная среда») состоит из рассредоточенных восьмидесятиэтажных наземно-подземных зданий-комплексов, заглублённых на 50 м ниже дневной поверхности и соединённых между собой тоннелем, в котором находятся: водохранилище, культурно-спортивное озеленённое рекреационное пространство, инженерные коммуникации, линии малогабаритного метрополитена, автодорожный тоннель. Другой проект «Алиса» предполагает максимальное освобождение дневной поверхности с наземным расположением лишь рассредоточенной малоэтажной жилой и спортивной застройки, разделённой зелёными зонами.

Д. Беннетом (США) предлагается концепция Природной системы, базирующейся на экономии земли и круговороте природных материалов с минимумом трансформаций и возможным использованием энергии в её естественной природной форме. Такая Природная система, по замыслу её автора, представляет собой вертикальный индустриально-сельскохозяйственный город, расположенный как под, так и над землёй, и способный самостоятельно вырабатывать необходимую энергию и перерабатывать собственные отходы. Комплекс должен занимать минимум дневной поверхности, использовать собственные строительные материалы, природные ресурсы и энергию, включать в себя разнообразные природоохранные и энергосберегающие технологии, подземную и небоскрёбную конструкции. Вся эта система должна функционировать в замкнутом цикле, с самостоятельным восполнением ресурсов и без загрязнения окружающей среды.

3. СОВРЕМЕННЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Одним из наиболее важных аспектов использования подземного пространства является архитектурное решение внутреннего оформления помещений, в которых предполагается постоянное присутствие людей. Отсутствие дневного света и природных звуков, специфичное оформление выводных коммуникаций, сам факт нахождения под землёй (в особенности — длительного) увеличивают утомление и вредно сказываются на организме человека. У лиц, длительно находящихся в условиях подземного пространства, отмечают: пониженное содержание в организме красящего пигмента меланина, что вызывает общую бледность кожи и волос, покраснение глаз; угасший взгляд, замкнутость и оцепенелость. В связи с этим подземные помещения должны быть более комфортабельными, чем соответствующие помещения на поверхности земли. С целью создания комфортной среды пребывания используются соответствующий дизайн помещений, специальные системы освещения и кондиционирования. Совместное использование этих факторов позволяет избежать возникновения агорафобии и клаустрофобии* у некоторых людей, длительное время находящихся в замкнутом пространстве подземного помещения. Специалистами в области архитектуры подземного пространства отмечается положительное влияние дизайна помещений на самочувствие и настроение людей за счёт эффективной организации подземного пространства, психологически обоснованного подбора цветов, освещения и акустики, создания впечатления связи с внешним миром.

Подземные сооружения нового поколения создаются с оригинальными конструктивными и объёмно-планировочными реше-

* *Агорафобия* — боязнь открытого пространства. *Клаустрофобия* — боязнь замкнутого пространства.

ниями, с новыми системами теле- и видеоконтроля, пожаротушения и безопасности находящихся в них людей.

Например, выразительность архитектурных решений станций Юбилейной линии лондонского метрополитена была достигнута за счёт оригинальных объёмно-планировочных и конструктивных решений. Полы станций были выполнены из полированных плит искусственного гранита тёмно-серого цвета. Освещение и окраска элементов конструкций и стен, совместно с современной формой железобетонных колонн и отделкой стен яркой облицовочной плиткой, стали основными элементами архитектуры и дизайна станций.

В Германии в последние годы разработаны оригинальные архитектурно-планировочные решения, согласно которым подземные сооружения общественного назначения являются естественным продолжением наземной архитектуры и позволяют создавать новые функциональные объёмы в подземном пространстве при оптимальном размещении подземных объектов. В подземном культурном комплексе у кафедрального собора Кёльна разместились два музея, концертный зал и подземная автостоянка. На обширной территории за Романо-германским музеем и соборным подворьем устроен широкий спуск к р. Рейн. Тщательно продуманное расположение наземных и подземных сооружений, включая железнодорожную станцию, здания старой части города и спуск к Рейнскому саду, с учётом топографических условий местности, позволили зрительно скрыть значительную часть архитектурных объёмов и подчеркнуть наиболее ценные объекты. Пятиярусная подземная автостоянка, размещённая вдоль набережной, является дополнительной защитой помещений подземных музеев и концертного зала.

Подземный комплекс железнодорожного вокзала в Штутгарте запроектирован с учётом оптимального распределения пассажиропотоков за счёт использования пространства под вестибюлями вокзала. Система тоннелей соединяет вокзал с близлежащим парком, автостоянкой, остановкой трамвая и станцией метрополитена.

При разработке архитектурного решения станций на линии «Метеор» парижского метрополитена была принята общая концепция оформления, согласно которой было обязательным не

только учитывать специфику каждой станции, но и её органическую связь с городской застройкой, с оформлением вокруг наземных вестибюлей и входов, учитывая культурные традиции Франции (рис. 3.1).

Линия «Метеор», четырнадцатая в парижском метрополитене, была открыта в 1998 году. Функционирование линии полностью автоматизировано и управляется с диспетчерского пульта (рис. 3.2), куда стекается вся информация от систем управления, видеонаблюдения и безопасности, установленных в поездах и на станциях. По линии курсируют автоматизированные поезда из 8 вагонов.

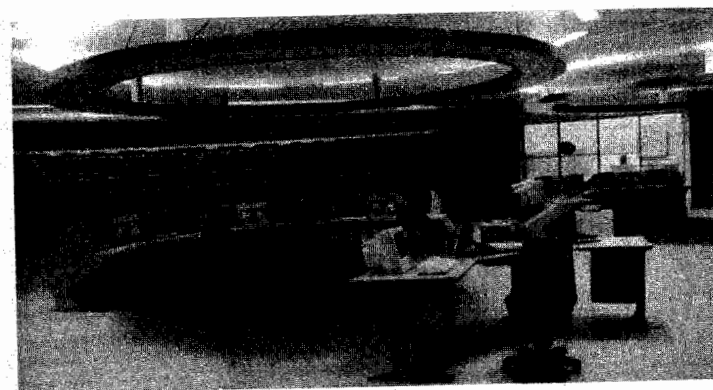


Рис. 3.1. Вход на станцию метро. Париж

Рис. 3.2. Центр управления линией «Метеор» парижского метрополитена

Большое значение было придано правильному подбору искусственного освещения подземных станций и удобству пропуска пассажиропотоков. Вся арматура освещения на станциях выполнена светополосами, в которые вмонтированы системы освещения, теленаблюдения и громкоговорящего оповещения.

Связь между платформами организована с помощью переходов, соединённых эскалаторами и лестничными маршами (рис. 3.3). Лестничные марши выполнены под углом 35° и их ступени, для предотвращения соскальзывания пассажиров, имеют абразивную поверхность.

На станциях установлены ограждения платформ из бронированного стекла с автоматически открывающимися дверями в местах посадки—высадки пассажиров (рис. 3.4). В принципе, такое конструктивное решение является упрощённым вариантом отечественных станций типа «горизонтальный лифт» (см. рис. 2.51), хотя эти решения и преследуют разные цели. Существенным недостатком конструкции станций типа «горизонтальный лифт» является их проектирование под определённый типоразмер состава, что приводит к значительным осложнениям, не только при изменении типа поезда, но даже при увеличении количества вагонов. В этих случаях возникает необходимость практически полной реконструкции всей станции.

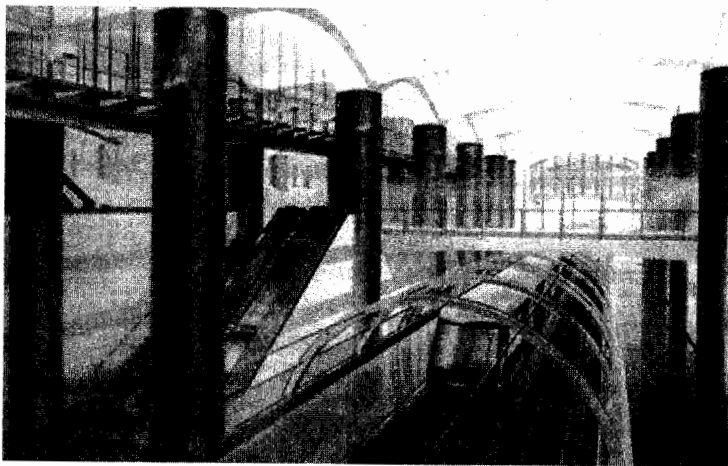


Рис. 3.3. Проект одной из станций линии «Метеор»

При этом, с точки зрения обеспечения безопасности, стеклянное ограждение платформ обладает рядом несомненных преимуществ: значительно более низкая стоимость, максимальное обеспечение безопасности пассажиров, ожидающих поезда, возможность установки ограждения на уже существующей станции и его быстрого приспособления под габариты поезда в случае их изменения.

Важной проблемой обеспечения безопасности для отечественного метрополитена является достаточно частое нанесение травм пассажирам подходящими и отходящими составами. Применяемые в настоящее время в московском метро технические решения снижают степень травматизма, но не являются кардинальным решением проблемы. Учитывая вышесказанное, возможно применение ограждений, аналогичных представленным на рисунках 3.3 и 3.4, на платформах и в переходах над путями для станций метрополитена в крупных городах России, в первую очередь, в Москве и Санкт-Петербурге. Это позволит практически полностью обезопасить пассажиров от травмирования поездами, случайного падения на пути, а также значительно снизит уровень шума на станциях. Если же стеклянное ограждение будет запроектировано на всю высоту станции и сможет полностью изолировать посадочные платформы от распределительного зала, то, при обеспечении нормальной вентиляции станционного



Рис. 3.4. Станция с ограждением платформы из бронированного стекла

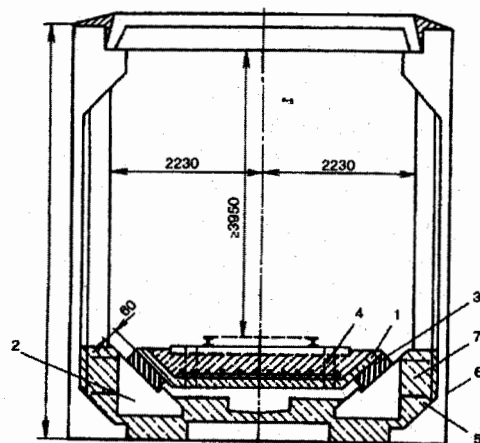


Рис. 3.5. Виброгасящее строение пути на амортизаторах:
1 — железобетонное путевое корыто, 2 — опорный продольный блок с выпусками арматуры, 3 — резиновый амортизатор, 4 — проёмы для подъёма пути при замене резиновых амортизаторов, 5 — выпуски арматуры, 6 — гидроизоляция, 7 — монолитный бетон

пространства, возможна практически полная шумоизоляция распределительного зала.

Вагоны поездов на линии «Метеор» имеют резиновые колёса для предотвращения вибрации и шума в перегонных тоннелях и на станциях.

Другое техническое решение для снижения шума и вибрации при движении поездов было принято при разработке конструкции пути линии «А» римского метрополитена. Путь состоит из железнодорожных рельсов, уложенных на деревянные шпалы из дуба или ясеня, пропитанных составом на основе битума. Шпалы укладываются на щебёночное основание, под которым располагается листовое покрытие из резины толщиной 2 мм.

На станции «Ватерлоо» Юбилейной линии лондонского метрополитена установлено специальное виброгасящее верхнее строение пути, исключающее передачу вибрации от движения поездов через грунтовый массив на конструкции близлежащих зданий.

На рис. 3.5 приводится конструкция виброгасящего строения пути, используемого на Калужско—Рижской линии Московского метрополитена [Дорман, 1995].

Таким образом, правильное архитектурное и конструктивное решение подземных помещений, особенно предполагающих постоянное или длительное присутствие человека, позволит повысить эмоционально-психологический комфорт и безопасность находящихся в них людей.

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДЗЕМНОГО ОБЪЕКТА С ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДОЙ

При строительстве подземных сооружений необходимо проводить всесторонний учёт возможных последствий влияния возводимого сооружения на окружающую среду.

В целом, проблемы экологии подземного строительства характеризуются:

- разработкой мероприятий по предотвращению возможных негативных последствий строительства подземных сооружений, включая предотвращение просадок зданий и сооружений на дневной поверхности, нарушение гидрогеологического режима подземных вод, предотвращение проникновения воды из напорных тоннелей в массив, приводящего к образованию разрывов и карстов и т.п.;

- выявлением в массиве горных пород зон разуплотнения, опасных для строительства подземных сооружений;

- применением экологически эффективных технологий освоения подземного пространства;

- необходимостью строительства подземных сооружений нового поколения, предусматривающих максимальный комфорт и безопасность пребывания в них людей.

За рубежом с середины 70-х годов прошлого века нашло широкое применение экологическое аудирование промышленных предприятий, смысл которого заключается в стимулировании деятельности производителя по предотвращению или снижению загрязнения окружающей среды.

В РФ экологическое аудирование промышленных предприятий стало проводиться лишь с середины 1990-х годов, и было связано с необходимостью соответствия производственной практики промышленных предприятий международным требованиям и стандартам для получения иностранных инвестиций и участия в международных проектах. Правовой основой этого процесса ста-

ли: Постановление правительства РФ № 1229 «О создании Единой государственной системы экологического мониторинга России» от 24.11.93 г. и Приказы Минприроды России: № 412 «Об экологическом аудировании» от 11.10.95 г. и № 540 «Об организации экологического аудита» от 29.12.95 г. С 1 апреля 1999 года были приняты государственные стандарты: ГОСТ Р ИСО 14001-98, ГОСТ Р ИСО 14004-98, ГОСТ Р ИСО 14010-98, ГОСТ Р ИСО 14011-98 и ГОСТ Р ИСО 14012-98, базирующиеся на международных экологических стандартах качества ISO 14000.

В горнодобывающей промышленности разрабатываются методы аудита информации, получаемой при проведении горно-экологического мониторинга, определяемого как специальная информационно-аналитическая система контроля и оценки состояния окружающей среды в зоне действия предприятий горнодобывающей промышленности. При этом горно-экологический мониторинг основывается на определении источников воздействия на окружающую среду каждого конкретного объекта горного производства (обогажительная фабрика, карьер, подземный рудник и пр.) и формировании на горнодобывающем предприятии системы наблюдательных сетей. Работа наблюдательных сетей носит, в первую очередь, статистический характер и позволяет своевременно получать необходимую информацию о состоянии окружающей среды и изменениях, происходящих в ней под воздействием горного производства. При аудировании полученной информации проверяются данные о существовании на предприятии системы горно-экологического мониторинга, годовые отчетные данные о влиянии горного производства на окружающую среду и достоверность предоставляемых данных [Левзнер, 1999].

К настоящему времени назрела необходимость разработки систем экологического аудирования для проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений, возводимых в крупных городах и городах-мегаполисах. В этом случае основная задача экологического аудирования — это не только независимое исследование всех аспектов хозяйственной деятельности промышленного предприятия для установления размера прямого или косвенного воздействия на состояние окружающей среды, подразумевающее статистическую констатацию существующего положения вещей, но и разработка мероприятий и рекомендаций по наиболее безболезненной интеграции подземного объекта в

геоэкологическую среду. Таким образом, *основная задача экологического аудирования подземного строительства — соблюдение баланса между условиями сохранения или минимального нарушения природной среды и полного, качественного и экономически выгодного производственного процесса.*

Экологическое аудирование должно проводиться уже на предпроектной стадии и включать в себя различные виды работ для разных стадий «жизни» сооружения.

1. *До начала строительства* — комплексный геоэкологический анализ территории, включая геомеханическое обеспечение подземного строительства и прогнозирование гидрогеологических условий осваиваемой территории.

Геомеханическое обеспечение подземного строительства включает:

- решение задачи длительной устойчивости сооружения и контроля за напряженно-деформированным состоянием вмещающего массива;

- определение влияния подземного объекта на окружающую его природную среду и инженерные сооружения, на весь период «жизни» объекта (строительство, эксплуатация, реконструкция, ликвидация).

Основной целью геомеханического обеспечения является:

- предотвращение аварийных ситуаций;

- повышение безопасности и эффективности строительных работ;

- обеспечение сохранности и нормальных эксплуатационных качеств зданий, сооружений и инженерных сетей, находящихся в зоне влияния подземного объекта.

Работы по геомеханическому обеспечению выполняются в следующей последовательности:

- оценка естественного напряженно-деформированного состояния (НДС) вмещающего массива;

- прогнозирование изменений НДС в результате строительных работ;

- контроль за процессами, происходящими в массиве и на поверхности.

До начала ведения горнопроходческих работ геомеханическое состояние массива оценивается на основании данных инженерно-геологических и геоэкологических изысканий. Прогноз из-

менений состояния массива выполняется как для условий строительства и эксплуатации подземного сооружения, так и для вероятных аварийных ситуаций (разрушение крепи и обделки, прорывы в тоннель воды или пливунов, развитие карстов и т.п.).

При определении вероятности прорыва воды в тоннель необходимо оценить надёжность водоупора, отделяющего толщу пород, в которых проектируется выработка, от вышележащего водоносного горизонта, с учётом толщины водоупорного слоя, не нарушенного при проходке выработки. В зависимости от расположения подземного сооружения относительно этого слоя, он может деформироваться с образованием трещин (рис. 4.1): при изгибе слоя трещины зарождаются на участках выпуклости кривизны у верхней поверхности слоя и постепенно прорастают вниз; на участках вогнутости трещины зарождаются у нижней поверхности и прорастают вверх (рис. 4.1, а); если водоупорный слой находится в зоне влияния двух выработок, зоны растяжения от каждой выработки могут сливаться (рис. 4.1, б, в). Степень и характер нарушения водоупора необходимо учитывать при оценке его надёжности, выборе расстояния между выработками и технологии производства горнопроходческих работ [Трубецкой, Иофис, 1999].

Одной из наиболее важных задач геомеханического обеспечения является контроль и управление деформационными процессами, протекающими в массиве горных пород и на его поверхности. В процессе возведения подземного сооружения нарушается естественное равновесие массива горных пород, что может приводить к деформациям и подвижкам. При этом, непосредственно над выработкой, образуется зона обрушения (рис. 4.2), над которой породы, прогибаясь, теряют сплошность и в них появляются трещины. Ещё выше толща горных пород расслаивается и слои прогибаются без образования трещин. Расположенные над выработкой здания и сооружения могут претерпевать определённые деформации. Если они не приводят к разрушению зданий и сооружений, не препятствуют их эксплуатации по прямому назначению и не создают опасных условий для находящихся в них людей, то такие деформации называют *допустимыми*. Величины допустимых деформаций определяются специальным расчётом. Сущность расчёта базируется на зависимости зоны влияния подземного сооружения от глубины заложения: с увеличением глубины заложения растёт зона влияния, но уменьшаются деформации поверхности. Затем рассчитывают де-

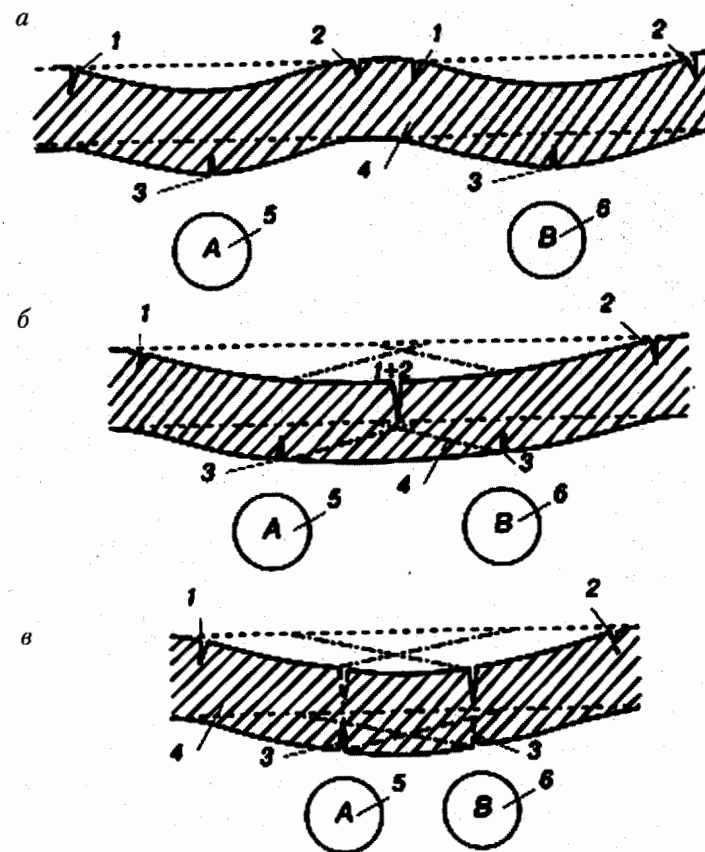


Рис. 4.1. Формы деформирования водоупорного слоя при различных расположениях выработок: 1 и 2 — трещины в слое, развивающиеся от его верхней поверхности, 3 и 4 — трещины, развивающиеся от нижней поверхности слоя, 5 и 6 — выработки

формации сооружений, находящихся в зоне влияния выработки. Далее определяют величину оседания горных пород над кровлей тоннеля, при которых деформации земной поверхности не превысят допустимых значений. На основании полученных результатов выбирают способ ведения проходческих работ, виды крепи, типы применяемых машин и механизмов.

Подземные воды представляют собой наиболее динамичную компоненту геоэкологической среды, влияние которой особенно

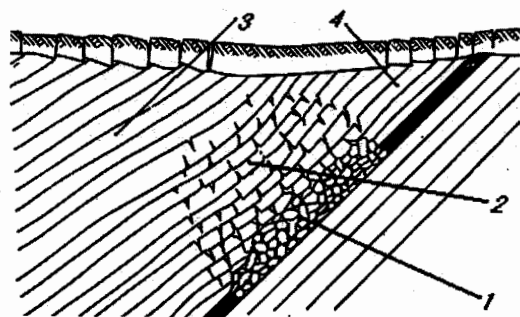


Рис. 4.2. Области сдвижения горных пород: 1 — зона обрушения, 2 — зона трещинообразования, 3 — область прогиба, 4 — область сдвижений

сильно проявляется в условиях плотной застройки городских территорий. При разработке проектов строительства подземных и заглублённых сооружений необходимо проводить прогнозирование гидрогеологических условий осваиваемой территории на разные периоды времени:

краткосрочное прогнозирование — на период производства работ нулевого цикла;

среднесрочное прогнозирование — на период выполнения основных строительно-монтажных работ и ввода объекта в эксплуатацию;

долгосрочное — на период эксплуатации объекта.

Срок прогноза во многом определяет его точность: чем больше срок, тем меньше точность прогноза. Поэтому составленные прогнозы необходимо корректировать на основании гидрогеологического мониторинга, формирования и использования информационного банка данных.

Недостаточно полное изучение и учёт инженерно-геологических и гидрогеологических условий района строительства может привести к катастрофическим последствиям, как, например, это произошло в 1998 году при строительстве тоннеля диаметром 4 м, идущего под улицей Большая Дмитровка от Охотного ряда до Страстного бульвара в Москве. Тоннель длиной 740 м сооружался щитовым способом в условиях плотной городской исторической застройки на глубине 20–30 м. При внезапной встрече с водоносными песками, проникшими в тоннель, на поверхности произошло образование воронки диаметром около 30 м и объёмом около 500 м³.

В 1995 году произошло разрушение и затопление центральной части перегонного тоннеля метрополитена в Санкт-Петербурге, пересекающего палеодолину в районе станции «Площадь Мужества». В качестве причин специалисты рассматривают совместное действие несовершенства конструкции тоннеля, построенного в 1971–1975 годах, и проявления ряда инженерно-геологических и гидрогеологических факторов, проигнорированных при проектировании.

2. *Во время строительства* — экологическая оценка: технологии производства работ, ликвидации строительной площадки, общего благоустройства территории. Например, при возведении горного тоннеля Адлер в Швейцарии вынутую породу использовали для засыпки отработанного гравийного карьера в зоне северного портала тоннеля. Гумусовые почвы, разработанные на участке открытых работ, использовали для рекультивации территории, нарушенной при строительстве, что позволило восстановить первоначальный ландшафт и провести на отдельных участках дополнительные лесопосадки [Дайджест зарубежной информации, 1996].

Наиболее существенное вмешательство в экологию подземного пространства происходит на этапе строительства подземного сооружения, т.к. последствия техногенного вмешательства в существующую экосистему носят необратимый характер. При ведении подземных работ в городских условиях, кроме этого, необходимо обращать внимание на сохранность зданий и сооружений и на изменение гидрогеологического режима подземных вод.

С точки зрения экологичности все технологии производства подземных работ можно подразделить на:

- технологии, неучитывающие экологические требования;
- технологии, учитывающие экологические требования в неявном виде;
- технологии, в которых экологичность вторична по отношению к экономичности;
- технологии, направленные на минимизацию негативного влияния на природную среду.

Многие годы при строительстве подземных сооружений использовались технологии 1-го и, частично, 2-го типов. Никак не учитывалось изменение сплошности скального массива при проведении буровзрывных работ, влияние цементационных завес и

дренажей на гидравлический режим подземных вод, возможность полного осушения водоносных горизонтов и многое другое. Влияние возводимого подземного сооружения на экологию подземного пространства учитывалось лишь в том случае, если изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий вмещающего массива могло сказаться на надёжности и безопасности самого сооружения.

В последние годы, как за рубежом, так и в нашей стране, приоритет отдаётся технологиям 3-го и 4-го типов. Согласно МГСН 1.01-98 «...при разработке проектной документации должна обеспечиваться приоритетность вопросов охраны окружающей среды, рационального природопользования, защиты здоровья и формирования экологически безопасной среды обитания». При выборе способа производства работ всё чаще предпочтение отдаётся наиболее экологичным способам строительства. К ним можно отнести:

1. строительство стволов бурением;
2. способы бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций;
3. способ «стена в грунте»;
4. новоавстрийский тоннельный метод (НАТМ);
5. опережающий экран;
6. щитовой и механизированный способы проходки, в том числе с пригрузом забоя.

Применение специальных методов строительства в сложных инженерно-геологических условиях, в частности, пеногрунтового пригруза забоя при щитовой проходке перегонного тоннеля метрополитена, расположенного в аллювиальных породах в г. Валенсия (Испания), позволило выдержать средние значения допустимых просадок земной поверхности в пределах 3 мм. Использование мылообразной пены, помимо снижения проницаемости и повышения устойчивости грунтового массива, повышает вязкость вынимаемой породы. При этом улучшаются её технологические свойства, снижается абразивность песчаных и гравийных фракций, повышаются эксплуатационные характеристики проходческого комплекса в целом.

Экологически безопасные технологии строительства и эксплуатации подземных объектов позволяют достичь нового уровня освоения подземного пространства за счёт:

— более широкого использования подземного пространства, как среды обитания человека;

— расширения областей применения щитовой и механизированной проходки и НАТМ;

— творческого использования подземного пространства, строительства подземных сооружений нового поколения и развития подземных инфраструктур с учётом требований экологии;

— применения современных подходов к проектированию подземных сооружений, базирующихся на таких дисциплинах, как подземная архитектура, строительная геотехнология, геоника* и пр.

Ещё одним важным аспектом подземной экологии является защита подземных выработок и помещений от повышенных концентраций радона**. Радон повсеместно поступает в атмосферу из толщи земли, однако его концентрации в атмосферном воздухе весьма незначительны. В закрытых подземных помещениях эти концентрации, достигнув определённых величин, могут нанести ущерб здоровью людей.

Наиболее эффективным способом снижения концентрации радона является правильно подобранная и направленная вентиляция. При этом не рекомендуется организовывать циркуляцию по помещению одного и того же воздуха. Количество радона, поступающего из подземных вод, снижают путем тщательно организованной и выполненной гидроизоляции и дренажа.

* *Геоникой* называется новое научное направление в изучении подземного пространства, базирующееся на достижениях строительной геотехнологии и теории проектирования и освоения недр.

** *Радон* — инертный радиоактивный газ, не имеющий запаха, вкуса и цвета. Он выделяется из радия — одного из продуктов распада урана, трудно образует соединения с другими веществами, но при этом сам разлагается на изотопы полония, свинца и висмута, называемые недолговечными продуктами распада радона. Изотопы радона и полония являются α -активными, свинца и висмута — β - и γ -активными и представляют собой взвешенные частицы и свободные ионы, проникающие в организм человека через дыхательные пути.

Небольшое количество урана и радия присутствует, практически, в любом грунте или скальной породе. Часть газообразного радона, образующегося при распаде радия, высвобождается и перемещается по порам и трещинам. В воздух зоны проходческих работ радон может попадать из подземных вод или со стен выработки.

В последние десятилетия при строительстве подземных сооружений как в нашей стране, так и за рубежом, всё большее внимание уделяется информационному обеспечению строительства. Причинами протестов местного населения против строительства являются: шумы, производимые буровым, вентиляторным и компрессорным оборудованием и возникающие при работе строительных машин, механизмов и при проведении буровзрывных работ; пыль, поднимаемая при строительномонтажных работах, а также некоторые социальные и субъективные факторы. С этими проблемами сталкиваются как отечественные, так и зарубежные тоннелестроители, что приводит к необходимости проведения разъяснительных бесед с местными жителями и широкого распространения информации о строительстве. При строительстве тоннеля Бирменсдорф вблизи Цюриха (Швейцария) протяжённостью 5,4 км нормальное ведение работ стало возможным только после подробных разъяснений и детального информирования местного населения о выполняемых работах [Datteln, 1998]. В США при проектировании и строительстве подземных сооружений в обязательном порядке учитываются влияние на окружающую среду и мнение населения, живущего в районе строительства [Brierley, Smith, 1998]. Финскими строительными нормами рекомендуется заблаговременно уведомлять жителей домов, расположенных в радиусе не менее 100 м от места ведения подземных работ. В уведомлении должны указываться: назначение строительной площадки, фирма-строитель, подрядчик, сроки строительства и телефоны для получения дополнительной информации и подачи возможных жалоб [Саари, Рейнисто, Лайне, 1993]. Считается, что правдивая информация о проходческих работах позволит ослабить предвзятое к ним отношение и сократить количество жалоб со стороны местного населения.

3. На период эксплуатации — разработка системы управления окружающей средой в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14001-98. Система управления окружающей средой является общей частью административного управления и включает в себя необходимые организационные структуры, разработанные процедуры и ресурсы для разработки, реализации и поддержания программы экологической безопасности подземного объекта на весь период эксплуатации.

Например, при проникновении воды из эксплуатируемого подземного сооружения в горный массив возможно частичное или полное разрушение горных пород за счёт химической суффозии, приводящей к образованию карстов. Наибольшей растворимостью обладают: галоиды (каменная и калийная соли), сульфаты (гипс, ангидрит) и карбонаты (известняки, доломиты, мергели, мел). На рис. 4.3 приводится пример образования карста за счёт проникновения воды из напорного тоннеля в горный массив, содержащий включения гипса. На участке длиной 4 м произошло опускание подошвы тоннеля на 15 см. После удаления повреждённой части облицовки была обнаружена карстовая полость шириной 2 м и глубиной в несколько метров. Полость была забетонирована, а на участке тоннеля длиной 69 м была выполнена дополнительная железобетонная облицовка [Волков, Вороневский, Зурабов, Бугаева, 1945].

4. На период реконструкции или ликвидации объекта — учёт влияния процесса реконструкции или ликвидации подземного сооружения на сложившуюся экосистему.

В последние годы одной из наиболее важных проблем городских агломераций становятся неиспользуемые и заброшенные подземные сооружения: подвалы зданий, штреки метро, вентиляционные ходы, неиспользуемые подземные сооружения промышленного, гражданского и специального назначения, в частности,

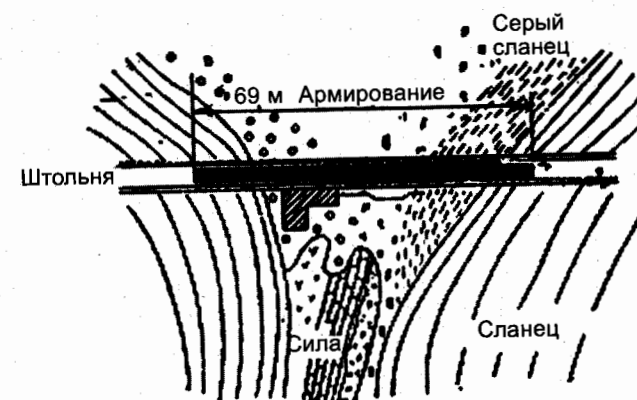


Рис. 4.3. Пример карстовой полости, образовавшейся из-за утечки воды из тоннеля в массив.

объекты гражданской обороны [Колюхов, Говорова, 2000]. «Инструкция о порядке ликвидации и консервации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых», утвержденная Постановлением Госгортехнадзора России № 34 от 02.06.98 г. предусматривает необходимые мероприятия, в том числе экологической направленности, связанные с ликвидацией и консервацией подземных сооружений. В проекте ликвидации или консервации подземного сооружения должны быть разработаны технические решения и мероприятия по:

- обеспечению устойчивости выработок или их искусственному обрушению для предотвращения провалов и недопустимых деформаций земной поверхности;
- предотвращению загрязнений геологической, гидрогеологической среды и водных объектов;
- ликвидации провалов, трещин, локализации опасных участков;
- рекультивации нарушенных территорий;
- предотвращению попадания в подземные выработки людей и животных.

При ликвидации подземных сооружений под застроенными территориями необходимо предусматривать закладку (заполнение) выработок, расположенных выше безопасной глубины. При этом необходимо предусмотреть техническое обеспечение наблюдений за состоянием подземного сооружения и его влияния на окружающую среду (горно-экологический мониторинг) на период консервации или стабилизации гидродинамического режима и процессов сдвижения горных пород и земной поверхности при ликвидации подземного сооружения.

Несмотря на принятие соответствующих законодательных положений анализ современного состояния подземного пространства Москвы, Санкт-Петербурга, Самары и других городов нашей страны указывает на практически полное отсутствие своевременно проведенных мероприятий по ликвидации или консервации подземных выработок. Существующая ситуация приводит к многочисленным провалам земной поверхности и возникновению аварийных ситуаций.

5. ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОТРАБОТАННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Как уже было показано выше, в последние годы одной из наиболее важных проблем городских агломераций становятся неиспользуемые и заброшенные подземные сооружения различного назначения.

Отработанные подземные горные выработки и неиспользуемые по прямому назначению подземные сооружения (в первую очередь объекты гражданской обороны и специального назначения) являются потенциальной средой для размещения различных объектов и сооружений. Это могут быть:

- хранилища (холодильники, склады, резервуары воды, нефти, газа, нефтепродуктов, аккумуляторы различных видов энергии);
- объекты промышленности (предприятия стройиндустрии, радиоэлектроники и приборостроения, лёгкого и среднего машиностроения, оборонного назначения, высокоточные производства);
- ГЭС, ТЭС, ГАЭС, ПАЭС;
- гаражи, автостоянки, предприятия автосервиса;
- предприятия по переработке и утилизации вредных и радиоактивных отходов;
- убежища на особый период, сооружения гражданской обороны;
- спортивные и культурно-зрелищные объекты, сооружения торговли, культурно-бытового обслуживания населения;
- учебные, научно-исследовательские, экспериментальные и др. объекты.

В соответствии со СНиП 2.01.55-85 «Объекты народного хозяйства в подземных горных выработках» наиболее перспективными для этих целей являются выработки, отвечающие следующим требованиям:

— закреплённые, поддержание которых не требует дополнительного возведения крепи, или незакреплённые, находящиеся в устойчивом состоянии;

— имеющие габариты не менее 4 м ширины, 2,4 м высоты, суммарной площадью 500 м²;

— горизонтальные или слабонаклонные;

— сухие или частично затопленные из-за отсутствия средств водоотлива (водоприток из незатампонированных скважин и подходов выработок не учитывается).

В первую очередь предпочтение отдаётся горным выработкам, пройденным при разработке гипса, известняка, каменной и калийной солей, рудных месторождений, не подлежащие закладке, обрушению или затоплению; околоствольным дворам, камерам и капитальным выработкам действующих угольных шахт, специальным подземным сооружениям тоннельного и камерного типов.

Для хранения нефтепродуктов могут использоваться выработки следующих типов:

1. отработанные камеры рассолопромыслов:

— имеющие близкую к правильной форму поперечного сечения, при диаметре камеры не менее 20 м;

— располагающиеся в массивах каменных солей, не имеющих посторонних включения (битумов, сульфидов, солей калия и магния);

— не имеющие обрушений кровли и стен;

2. околоствольные дворы, камеры и капитальные выработки отработанных и действующих предприятий по добыче полезных ископаемых:

— закреплённые каменной, бетонной или железобетонной обделкой при полном демонтаже оборудования и аппаратуры;

— не имеющие обрушений кровли и стен;

— не пересекаемые крупными трещинами и разломами.

В частности, возможно вторичное использование незадействованных выработок функционирующего горного предприятия по добыче полезных ископаемых — на другом горизонте или участке шахтного поля. Сочетание добычи полезных ископаемых с вторичным использованием выработок является достаточно

рациональным решением, позволяющим существенно повысить комплексность использования недр.

Для размещения только защитных сооружений гражданской обороны могут использоваться горные выработки, не подвергающиеся затоплению шахтными и поверхностными водами, загасовыванию вредными, взрывчатыми и возгорающимися газами, имеющие габариты не менее 2 м ширины, 1,8 м высоты и площадь, достаточную для размещения не менее 10 укрываемых людей.

Запрещены к повторному использованию следующие виды выработок:

находящиеся в зонах возможных затоплений паводковыми водами, в том числе и при внезапном разрушении гидротехнических сооружений;

пройдённые в сильно обводнённых, слабых, неустойчивых, закарстованных горных породах с интенсивными оползневыми явлениями, а также породах, склонных к самовозгоранию, горным ударам, выделяющим агрессивные вещества, вредные, взрывчатые и возгорающиеся газы, имеющие повышенную радиоактивность;

пересекающие участки с большими тектоническими нарушениями.

В табл. 5.1 приводятся минимальные размеры некоторых видов выработок, допустимых для повторного использования.

Повторное использование подземного пространства базируется на приспособлении уже имеющихся техногенных ёмкостей для новых целей. При этом важную роль играет формирование планировочных решений размещения будущей инфраструктуры в уже существующих сооружениях. Нередко это приводит к выполнению дополнительных проходческих работ, особенно в горных выработках, которые не предназначались для вторичного использования (рис. 5.1, а, б, в). При перепрофилировании подземных объектов различного назначения такие работы, в большинстве случаев, практически исключены (рис. 5.1, г, д). Наиболее оптимальные варианты планировочных решений представлены в табл. 5.2. На рис. 5.2 и 5.3 показаны возможные варианты повторного использования горных выработок и подземных объектов.

Таблица 5.1. Минимальные размеры отработанных подземных горных выработок, допустимых к повторному использованию (по СНиП 2.01.55-85)

№	Подземные объекты и отдельные помещения	Минимальные размеры выработок, м	
		Ширина	Высота
1	Цеха: механический, инструментальный, автоматизации и механизации, ремонтно-инструментальный	6,0	3,6/4,8*
2	Цеха: ремонтно-механический и заготовительный	7,0	4,2/5,4
3	Лаборатории, вспомогательные помещения	6,0	3,0
4	Складские помещения, вычислительные комплексы	4,0	3,0
5	Архивы, книгохранилища	4,0	2,5/4,5
6	Музейные хранилища	4,0	4,0
7	Склады консервированной продукции	5,0	4,8
8	Зернохранилища	8,0	6,0
9	Холодильники и склады продовольствия	5,0	3,2
10	Винохранилища	6,2	3,6
11	Грибницы	3,0	2,2
12	Инкубаторы	4,0	2,2
13	Стоянки		
	легковых автомобилей	6,0/4,5**	2,2
	автобусов особо малого класса	6,5/5,0	2,2
	автобусов малого класса	10,5/5,5	3,2
	грузовых автомобилей малой грузоподъемности	6,5/5,0	3,2
	грузовых автомобилей малой и средней грузоподъемности	9,2/5,2	3,4
	грузовых автомобилей большой грузоподъемности	9,5/6,0	3,6

* Высота помещений в числителе — без применения подвешного оборудования, в знаменателе — при применении подвешного оборудования.

** Ширина помещений в числителе — при однорядной расстановке транспорта под углом 90° к оси проезда, в знаменателе — под углом 45° к оси проезда.

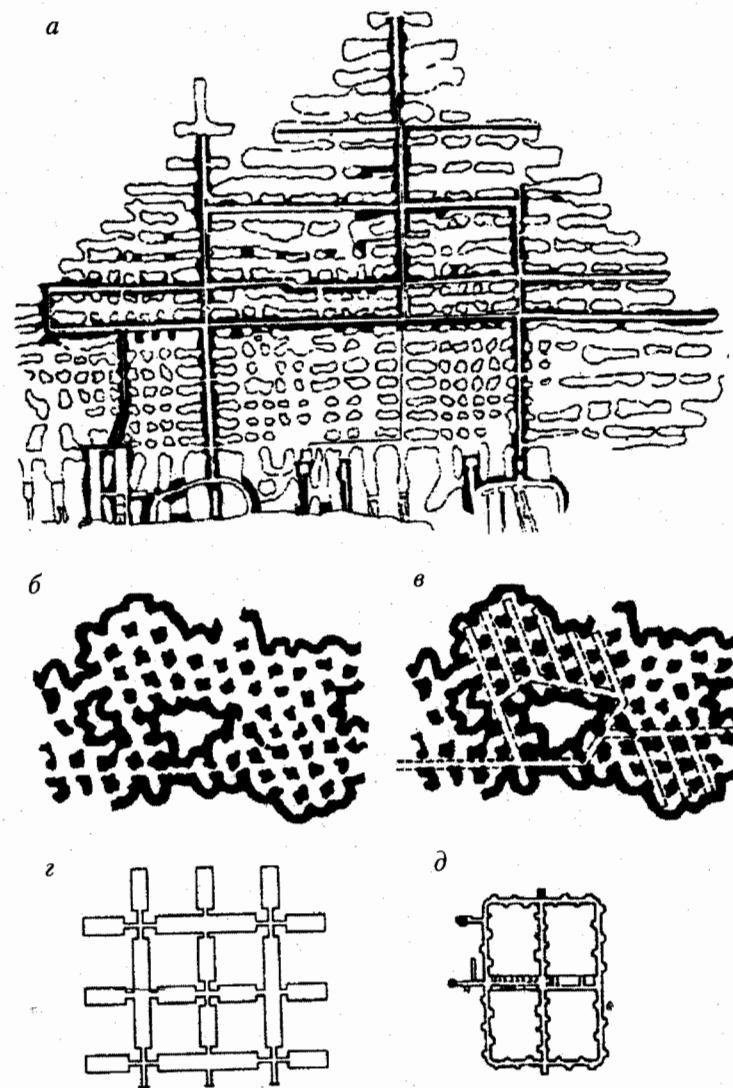


Рис. 5.1. Примеры планировочных решений подземных объектов, размещаемых в отработанных горных выработках:
а — упорядоченная конфигурация, б — неупорядоченная конфигурация, в — схема возможного упорядочения неупорядоченной конфигурации, г — горные выработки, пройденные по заданным параметрам, д — архитектурная организация горной выработки для повторного использования

Всё вышеперечисленное, в первую очередь, относится к отработанным горным выработкам. Однако в крупных городах и городах-мегаполисах существует значительное число неиспользуемых подземных сооружений самого различного назначения. Часть из них, в первую очередь объекты гражданской обороны, законсервированы и находятся под наблюдением специалистов. Другие — в основном, неиспользуемые при эксплуатации вспомогательные выработки строительного периода: камеры, шахтные стволы, рудворы и т.п. — надёжно закреплены и не пред-

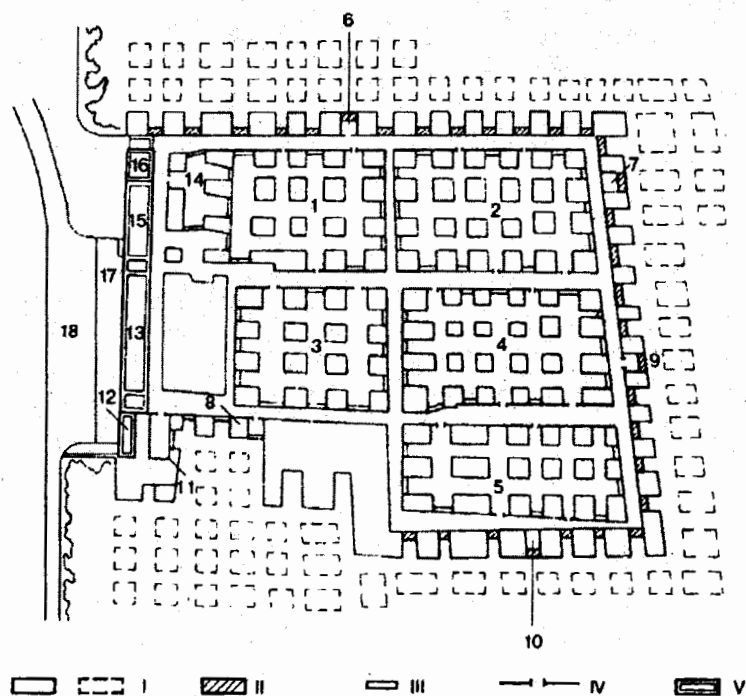


Рис. 5.2. Планировочное решение подземного склада с внутриобъектным транспортом:

I — существующие целики, II — перемычки, изолирующие от отработанных пространств, III — несгораемые перемычки, IV — перегородка с дверью, V — наземные сооружения; 1–5, 11 — складские помещения, 6–10 — венткамеры, 12 — мастерские, 13 — административно-бытовые помещения, 14 — стоянка погрузочных механизмов, 15 — котельная, 16 — трансформаторная, 17 — погрузочно-разгрузочная платформа, 18 — автодорога

ставляют опасности для геоэкологической среды городов. Третьи — заброшены (нередко забыты или невыявлены при инженерных изысканиях). Именно они, в большинстве случаев, проявляются провалами дневной поверхности, деформациями зданий и сооружений и являются потенциально опасными для геоэкологической среды городов. В любом случае, неиспользуемые подземные сооружения представляют собой огромный резерв подземного пространства, которое, при относительно незначительных и недорогих доработках (по сравнению со стоимостью строительства нового объекта), может быть использовано для размещения объектов торговли, культурно-бытового обслуживания населения, складов, хранилищ и т.п. И здесь может быть широко использован опыт зарубежных стран. В первую очередь это касается сооружений гражданской обороны.

В 1970–1980-е годы в Москве были построены несколько десятков подземных убежищ, многие из которых в настоящее время простаивают. Все эти объекты находятся в густонаселённых, в основном «спальных», районах с не всегда широко развитой инфраструктурой. Существующие подземные убежища могут

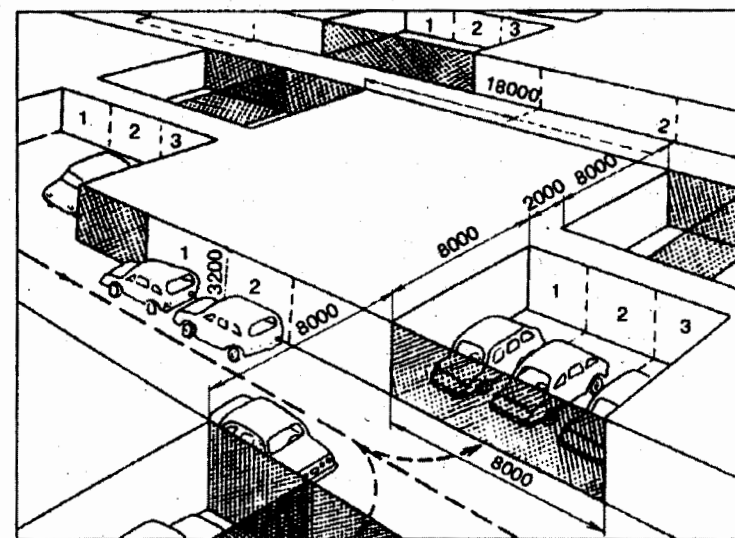


Рис. 5.3. Подземный гараж в отработанной горной выработке

Таблица 5.2. Оптимальные варианты планировочных решений подземных объектов [Бородин, 1995]

№	Наименование	Схема	Условные обозначения
1	Зальная		1 — распределительный зал, 2 — шлюз, 3 — хранилище → — вход
2	Односторонняя «гребёнка»		1 — транспортная выработка, 2 — камеры хранения, → — вход
3	Двухсторонняя «гребёнка»		то же
4	Двухсторонняя спаренная «гребёнка»		— —
5	Сложная «гребёнка»		— —
6	«Решётка»		— —

См. продолжение

Продолжение табл. 5.2

№	Наименование	Схема	Условные обозначения
7	Радиально-кольцевая		— —

быть переоборудованы под торговые комплексы, учреждения культурного и бытового обслуживания, объекты сервиса, склады, автостоянки, спортивные клубы, развлекательные заведения. Примером подобного подхода могут служить Мурманск и некоторые подмосковные города, где многие подземные убежища используются под склады.

В пределах исторического центра крупных городов немало подземных ходов, имеющих историческое значение. Многие из них могут использоваться для размещения археологических и исторических музеев, проведения экскурсий и организации туристических маршрутов. Кроме этого, в подземных объектах, имеющих историческое значение и соответствующий интерьер, возможно устройство кафе, ресторанов, сувенирных киосков и пр. Хорошим примером подобного подхода являются катакомбы Одессы, где специально выделенные и изученные участки используются для посещений туристами.

Ещё одной областью применения неиспользуемых подземных сооружений, особенно разветвлённых подземных ходов, является индустрия развлечений. После специальной подготовки интерьера и оборудования, в таких помещениях возможно проведение пейнтбольных и им подобных групповых имитационных игр и соревнований, а также других аналогичных мероприятий.

Таким образом, можно сделать вывод, что неиспользуемые подземные помещения являются потенциальным резервом подземного пространства, которое можно использовать не только с пользой для геоэкологической среды города, но и получать от их эксплуатации прибыль.

6. НАДЁЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

6.1. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации подземных сооружений*

Эксплуатируемые и строящиеся подземные сооружения являются «зонами повышенного риска» и, в случае возникновения аварийной ситуации, представляют серьезную опасность для находящихся в них людей. Аварии в подземных выработках происходят чаще, а последствия их намного тяжелее, чем в других отраслях строительства: травматизм и гибель людей, длительное прекращение эксплуатации или удлинение сроков строительства, значительный экономический ущерб.

Авария — это внезапное общее или частичное повреждение оборудования, горных выработок, сооружений, различных устройств, сопровождающееся длительным (как правило, более смены) нарушением производственного процесса, работы участка или предприятия, сооружения в целом [Горная энциклопедия, 1984].

По степени наносимых убытков и размерам разрушения все аварии подразделяют на:

1. *крупные* — охватывающие всё сооружение и приводящие к прекращению его строительства или эксплуатации на длительный период времени;

2. *местные* — приводящие к разрушениям сооружения только на отдельных участках. Последствия таких аварий могут быть ликвидированы в короткие сроки.

* При подготовке данного раздела, в основном, использованы материалы [Власов, Маковский, Меркин, 2000].

Подземные выработки — это капитальные сооружения, срок службы которых составляет не менее 100—150 лет*. В течение этого периода времени они должны удовлетворять требованиям эксплуатационной надёжности и обеспечивать безопасность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность как всего сооружения, так и отдельных его частей.

В практике строительства и эксплуатации подземных выработок могут происходить различные аварии, характер проявления которых определяется многочисленными факторами: протяжённостью подземного сооружения и размерами его поперечного сечения, местом расположения и глубиной заложения, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, технологией строительства.

В большинстве случаев, основными причинами аварий являются:

— *ошибки при изысканиях* — в основном, возникают из-за неполного объёма разведочных работ и геотехнических исследований, а также из-за неадекватной оценки геотехнической ситуации;

— *ошибки при проектировании* — могут быть вызваны принятием неудачных конструктивных и технологических решений, несоответствием расчётных схем конструкций действительности, нарушением требований правил и норм;

— *ошибки при строительстве* — в основном, из-за низкого качества работ, использования дефектных материалов и изделий, нарушения проектных параметров и требований технических заданий;

— *ошибки при эксплуатации* — связаны с несвоевременным и недостаточно полным обследованием, ремонтом и реконструкцией сооружений, нарушением штатных режимов вентиляции, освещения, водоотвода, правил безопасной эксплуатации.

* В Великобритании проводится обследование 12 наиболее старых тоннелей, построенных в конце XVIII—начале XIX вв. Это обследование включает в себя сбор данных по изменению инженерно-геологического и экологического состояния горного массива, состоянию крепления выработок и многое другое. Предполагается, что на основании этих данных будет проведена реконструкция, которая позволит продлить эксплуатацию этих сооружений ещё на 150 лет [Victorian rail tunnels, 1998].

Кроме вышеперечисленных, причинами аварий могут стать: стремление к максимальным экономии и прибыли, неоправданное повышение скорости строительства, агрессивность окружающей среды, недостаточная согласованность между проектировщиками, строителями и эксплуатационниками, стихийные природные явления (землетрясения, лавины, наводнения).

Обычно, в первые 5–10 лет после строительства не наблюдается никаких серьёзных повреждений конструкций и эксплуатационного оборудования. Через 15–25 лет после начала эксплуатации возникают дефекты, связанные с резкими колебаниями температуры воздуха на припортальных участках, агрессивными водами, обледенением, осадками основания и т.п. Через 50–70 лет проявляются последствия неудачного проектирования и строительства, явления старения материалов конструкции и окружающего грунта.

Самые распространённые аварии, как в строящихся, так и в эксплуатируемых сооружениях, связаны с:

1. обрушениями породы;
2. затоплениями;
3. загазованностью воздуха;
4. пожарами и взрывами;
5. антропогенными воздействиями.

Обрушением называется непредвиденное сдвигание горных пород с отделением от массива кусков, блоков, глыб и т.п. Его причиной является ослабление сил трения между отдельными частями массива, переходящих из состояния покоя в состояние движения. Чаще всего обрушения породы в забое или призабойной зоне имеют место при проходке горными способами в зонах слабоустойчивых грунтов с различными технологическими нарушениями. К ним относятся: продолжительное нахождение призабойного участка на временной крепи; несвоевременное и недостаточно надежное закрепление лба забоя; установка временной крепи недостаточной несущей способности и жесткости.

При проведении выработок закрытым способом обрушения обычно происходят в непосредственной близости от забоя выработки или в самом забое. При строительстве на глубине до 30 м в устойчивых породах проявляется разгружающее действие свода в грунте. Однако при нарушении этих условий, в частности, при

водопритоке, разгружающий эффект исчезает и происходит обрушение породы (рис. 6.1, а).

При наличии тектонических нарушений обрушения могут происходить непосредственно в зоне тектонического нарушения или на её границе. В процессе проходки грунт стремится оседать вниз и перемещаться вдоль тоннеля в сторону портала. Во время пересечения тектонических зон, либо при наличии впереди по трассе тоннеля более плотного массива, смещение породы вперёд становится невозможным и происходит вывал (рис. 6.1, б).

Нередко вывалы могут происходить в призабойной зоне на расстоянии около 50 м от забоя, там, где исчезает поддерживающее влияние породного массива (рис. 6.1, в).

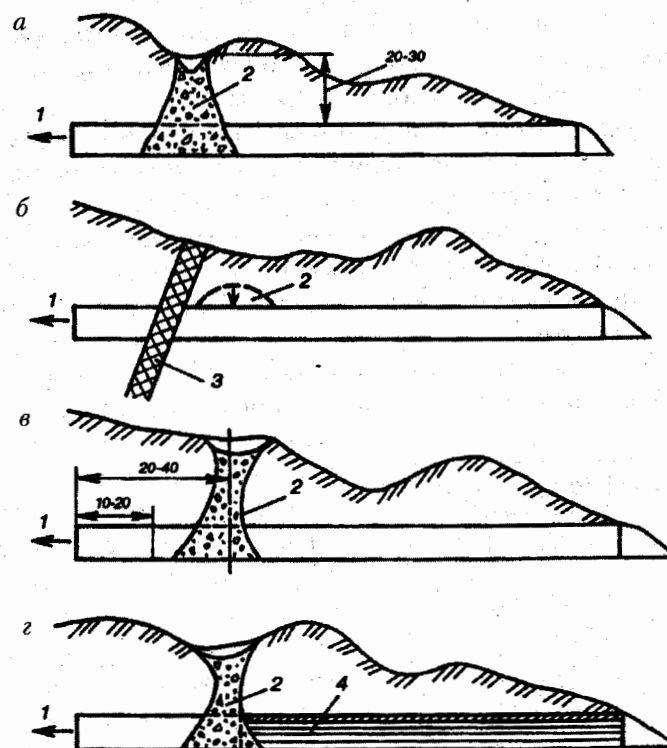


Рис. 6.1. Основные виды обрушений породы в строящихся тоннелях: 1 – забой, 2 – вывал, 3 – сбросовая зона, 4 – обделка. Все размеры приведены в метрах

В тех случаях, когда возведение обделки идёт с отставанием, обрушения породы могут происходить на границе переднего торца уже возведённой обделки (рис. 6.1, г).

Причинами обрушения также могут быть понижение уровня грунтовых вод (УГВ) и извлечение из забоя валунов и крупных каменных включений.

Купол вывала может распространяться до поверхности земли, образуя «воронку вывала» (рис. 6.2), либо может находиться в различной степени стабилизации, определяющейся свойствами и характером напластования пород. Наиболее опасна неустойчивая стабилизация вывала в мягких и слабоустойчивых породах, при которой может происходить его дальнейшее развитие, сопровождающееся обрушениями больших масс породы.

При *строительстве подземных сооружений открытым способом* обрушение грунта обычно происходит в виде оползневых тел, ограниченных плоскостями скольжения.

Обрушения и оползания приводят к подвижкам и деформациям породного массива, сопровождающимся осадками дневной поверхности, потерей устойчивости фундаментов зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от места аварии, повреждением наземных и подземных коммуникаций, покрытий автомобильных дорог и верхнего строения путей железных дорог.

При внезапном обрушении породы в строящемся подземном сооружении возможны гибель и травматизм обслуживающего персонала, разрушения и выход из строя горнопроходческого оборудования.

Механизированные щиты и тоннелепроходческие машины с исполнительными органами планетарного и роторного действия могут быть полностью заблокированы в забое обрушившейся породой. Это приводит к серьезным повреждениям и разрушению рабочего органа, корпуса и оборудования щитов и тоннелепроходческих машин, вызывает

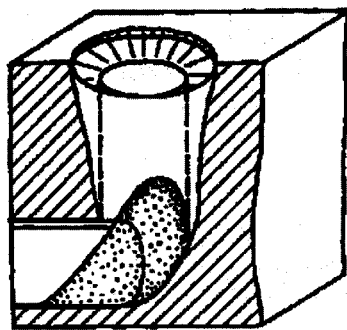


Рис. 6.2. Воронка вывала в забое строящегося тоннеля

необходимость ремонта проходческого агрегата на месте (что обычно крайне затруднительно) или его демонтажа и удаления из выработки. Для доступа к проходческому агрегату приходится вести проходку вспомогательных выработок (шахтных стволов, штолен, котлованов) и выполнять работы по стабилизации породного массива путем водопонижения, замораживания, тампонажа или химического закрепления. Все это сопряжено со значительными материальными затратами и увеличением сроков строительства.

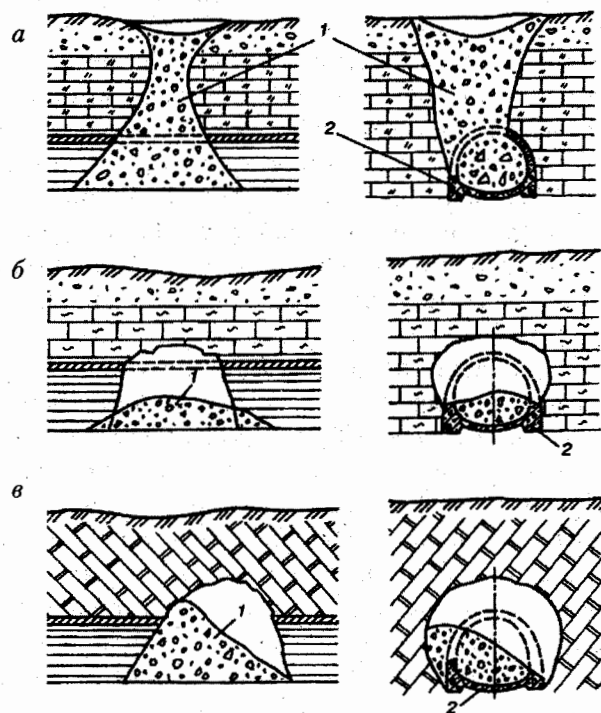
При ведении проходческих работ ниже уже существующих выработок, особенно заброшенных с нарушенной крепью, при росте нагрузки на крепь сохранившейся старой выработки от строительства новых зданий и сооружений, вибрации от ведения строительных работ, работы машин и механизмов, затопления заброшенных выработок и тому подобных явлений, возможна активизация сдвижения грунтов и горных пород, что приводит к образованию провалов и локальных оседаний земной поверхности. Над горизонтальными выработками с глубиной заложения до 80–100 м деформации земной поверхности проявляются в виде провалов и микроульд сдвижения, характеризующихся небольшой площадью, неправильной конфигурацией в плане, большой кривизной бортов, большими вертикальными и горизонтальными деформациями земной поверхности. Над вертикальными выработками (стволами, шурфами, скважинами и т.п.) деформации развиваются, как правило, в вертикальном направлении в месте их выхода на земную поверхность с образованием просадок поверхности и воронок обрушений [Нестеренко, Феофанов, 1998]. Процесс разрушения при этом несимметричен относительно оси ствола и протекает попеременно в случайной последовательности в пределах конуса обрушения. В глубинной части разрушения, в основном, возникают в окрестности слабых прослоев пород. Формы полостей разрушений несимметричны, при этом объем разрушенных более прочных пород, примыкающих к более слабому слою, может в 4–5 раз превышать объем разрушенных слабых пород [Звягильский, 1998]. По мере засыпки выработки, ранее обрушившиеся обнажения становятся устойчивыми и процесс разрушения затухает.

В эксплуатируемых подземных сооружениях обрушения, как правило, происходят в отдельных местах. Обрушившаяся порода может полностью или частично заполнить участок выработки, образуя завал. Завалы подразделяют на:

- глухие (рис. 6.3, а);
- завалы с отрывом (рис. 6.3, б);
- завалы переходного типа (рис. 6.3, в).

Причиной обрушений служит незнание или недооценка геологических условий или неправильная интерпретация результатов измерений, что ведёт к принятию ошибочных решений при проектировании и строительстве.

В частности, неточные знания физических, прочностных, деформационных и реологических свойств горных пород, слагающих массив, приводят к ошибкам в определении нагрузок на кон-



6.3. Виды обрушений породы в эксплуатируемых тоннелях:
1 — вывал, 2 — обвал

струкции, выборе расчетной схемы, установлении параметров буровзрывных работ, временной крепи, в принятии способа разработки грунта, технологии проходческих работ и, в конечном итоге, могут вызвать аварийную ситуацию.

Помимо знания свойств грунтов и горных пород необходима правильная оценка массива в целом, его структурных особенностей: степени неоднородности, анизотропии, естественной и искусственной трещиноватости, слоистости, сланцеватости и т.п.

Частыми причинами аварий в подземных сооружениях являются *неблагоприятные физико-геологические процессы*: гравитационные, сейсмические, тектонические, геотермические, карстово-суффозионные и др., сопровождающиеся вывалами и обрушениями породы, стреляниями и горными ударами, внезапными прорывами подземных вод и плывунов, выбросами пород и газов, нагреванием горных пород и подземных вод, набуханием и усадкой пород, морозным пучением грунтов и др. Различные формы строения участков земной коры, образовавшиеся в результате геотектонических дислокаций (складки, сбросы, выбросы, сдвиги, надвиги, разломы), представляют повышенную опасность для строящихся и эксплуатируемых подземных объектов. Так, при проходке тоннеля по оси синклинали складки, обделка испытывает значительное вертикальное и горизонтальное давление, а в крыльях антиклинальной складки возникает одностороннее горное давление (рис. 6.4). В ядрах антиклиналь-

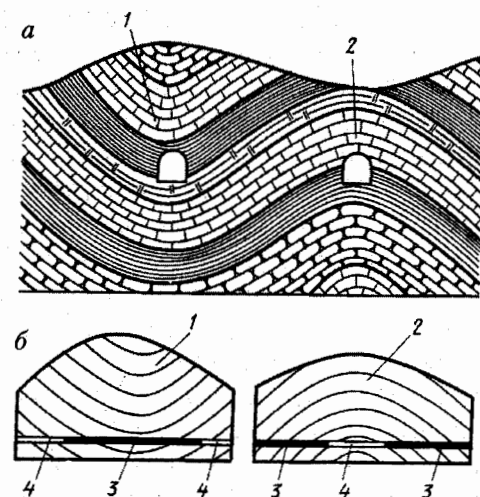


Рис. 6.4. Расположение тоннеля в горно-складчатых областях:

а — по простиранию пластов, б — вкrest простиранию пластов; 1 — синклиналь, 2 — антиклиналь, 3 — участок с повышенным горным давлением, 4 — участок с относительно небольшим горным давлением

ных складок более древние горные породы обычно раздроблены, поэтому высока вероятность вывалов породы, особенно при пересечении тоннелем замка антиклинальных складок.

Преодоление выработкой сбросов и сдвигов, совпадающих с простиранием пластов, сопряжено со значительными водопритокками и большим горным давлением. В зонах тектонических разломов, при наличии сильнотрещиноватых и неустойчивых грунтов, резко возрастают горное давление, приток подземных вод и газов, возможны вывалы и обрушения грунтов, разрушения временной крепи и обделки выработки.

Степень риска возрастает при строительстве на больших глубинах (порядка 1–2 км и более). Это связано с изменением прочностных и деформационных свойств грунтов и проявлением таких неблагоприятных физико-геологических явлений, как стреляние, горные удары, толчки, внезапные выбросы пород и газа, повышение температуры.

Стреляние и горные удары — результат проявления тектонических сил в виде внезапного хрупкого разрушения наиболее напряженной части массива, сопровождающегося обрушением грунта в выработку, сильным звуком и мощной воздушной волной. Для прогнозирования интенсивности и характера проявления горных ударов необходим постоянный инструментальный контроль напряженно-деформированного состояния массива.

Причинами аварийных ситуаций в строящихся выработках могут быть внезапные *выбросы горных пород и газа*, когда раздробленные и измельченные породы выбрасываются в забой вместе со значительным количеством метана, азота, углекислого газа и пр. Зафиксированы случаи неожиданного прорыва горячего пара под высоким давлением [Макаров, Меркин, 1991].

Повышенный риск аварий при строительстве и эксплуатации подземных сооружений возникает в *сейсмически активных районах*. Степень риска повышается при пересечении трассой тоннеля зон повышенной трещиноватости, участков резкого изменения рельефа местности, зон тектонических разломов и неустойчивых склонов. Хотя подземные сооружения в меньшей степени, чем наземные, подвержены воздействию землетрясений, возможны аварии, связанные с обрушением породы, затоплением выработки, разрушением крепи. Вызванные землетрясением обрушения отко-

сов, оползни и сдвиги в массиве приводят к значительным повреждениям и разрушениям порталов и припортальных участков.

Во многих случаях причиной аварии являются *карстово-суффозионные явления*. За счет размывания и химического растворения некоторых гидронестойких грунтов (известняков, гипсов, доломитов, мергелей) образуются воронки, пустоты и пещеры. Наличие невыявленных пустот в грунтовом массиве (открытых или заполненных продуктами растворения) представляет потенциальную опасность для строящихся и эксплуатируемых подземных объектов, так как нарушается устойчивость массива, возможно обрушение карстовых полостей, способных вызвать затопление и повреждение конструкции сооружения.

Наибольшая опасность для подземного объекта возникает при его размещении в массиве закарстованных водонасыщенных грунтов, особенно в случае расположения карстовых полостей непосредственно под подошвой выработки, а также если во время строительства нарушаются или уничтожаются слабопроницаемые глинистые отложения, покрывающие закарстованную толщу.

Нередко причиной аварий могут быть такие природные явления, как *оползни, снежные лавины, сели, камнепады*. При неудачном расположении участков выработок в пределах неустойчивых склонов, подверженных этим явлениям, участки подземного сооружения могут быть деформированы или разрушены.

Другой причиной аварий является неверная оценка *гидрогеологических условий*: глубины залегания, режима и физико-химических свойств подземных вод. Проходка в водоносных грунтах ниже УГВ приводит к нарушениям в установившемся режиме подземных вод, что вызывает увеличение скорости фильтрации и активизацию физико-механического действия воды. При строительстве в толще водосодержащих грунтов происходит приток подземных вод в выработку, что может вызвать затопление.

Грунтовые воды оказывают гидростатическое давление на конструкцию обделки, создают опасность всплытия сооружения, нарушают устойчивость массива за счет размягчения твердых и разжижения несвязных грунтов. Расположенное ниже УГВ подземное сооружение является преградой для подземных вод. Перед ним возникает подпор, а с противоположной стороны — понижение УГВ. Это увеличивает давление воды на об-

делку выработки, приводит к осадкам основания и повреждениям обделки.

Водоприток и гидростатическое давление возрастают с увеличением глубины заложения. При проходке на больших глубинах водоприток может быть весьма значительным даже в грунтах, имеющих небольшую водопроницаемость, а гидростатическое давление на глубине 1 км может достигать 8–10 МПа.

Понижение УГВ приводит к изменению напряжённо-деформированного состояния массива: возрастают напряжения в грунте в результате увеличения его собственного веса, появляются дополнительные осадки. Кроме того, в процессе откачки воды возможен суффозионный вынос мелких пылеватых частиц, что также сказывается на деформациях и уплотнении грунта. Подземные воды уменьшают связи между частицами мягких пород, создают дополнительные плоскости скольжения, образуют пустоты растворением и вымыванием гидронестойких пород, вызывают пучение глинистых грунтов. Все это способствует обрушению грунта в выработку.

Обрушения породы в эксплуатируемых подземных сооружениях приводят к разрушению обделки, внутренних конструкций и выходу из строя эксплуатационного оборудования. Для ликвидации последствий обрушения прекращается эксплуатация и проводятся ремонтно-восстановительные работы, а при многочисленных обрушениях — реконструкция всего объекта.

Разрушения конструкций подземных сооружений, обладающих недостаточной несущей способностью и жесткостью, могут происходить как вскоре после ввода в эксплуатацию, так и спустя много лет, прежде чем возникнет аварийная ситуация. Например, в июне 1967 года, через 1,5 года после ввода в эксплуатацию горного автодорожного тоннеля Сэки (Япония) длиной 1140 м, в его бетонной обделке появились трещины, которые быстро росли. Тоннель был заложен на глубине до 170 м от поверхности в толще сравнительно слабых скальных пород. Проведённые обследования показали, что деформации тоннеля вызваны просчётами при проектировании и непредвиденными изменениями горных пород.

Затопления чаще всего происходят при строительстве подземных сооружений закрытым способом в неустойчивых водона-

сыщенных грунтах либо ниже уровня грунтовых вод в условиях повышенного гидростатического давления.

Аварийные случаи прорывов воды или обводнённой горной массы (рыхлых водонасыщенных грунтов, обладающих плавучими свойствами) — это внезапное и усиленное их поступление в выработку, которое происходит в результате самопроизвольного либо принудительного разрушения водоупорных пород, перемычек, обваловки и коммуникаций. Прорывы приводят к частичному или полному затоплению выработки, выводу из строя горнопроходческого оборудования, травмам и гибели персонала.

Основные источники внезапных прорывов: поверхностные водоёмы (реки, озёра, водохранилища), поверхностные ливневые и паводковые воды, подземные водоносные горизонты. Прорывы воды из поверхностных водоёмов характеризуются огромными притоками по зонам тектонических нарушений. Прорывы ливневых и паводковых вод связаны с отсутствием ограждений на поверхности.

Прорывы воды в горные выработки подразделяют на прорывы, не содержащие механических примесей, и на загрязнённые воды со значительным содержанием илистых и песчано-глинистых частиц. Наибольшую опасность представляют прорывы плывунов, происходящие на контакте плывуна с плотным грунтом или при недостаточной мощности плотных грунтов.

От количества вынесенного материала зависят последствия аварий в выработках: частичное затопление, заиливание либо полное их «запечатывание» на большой протяженности, «захоронение» механизмов и машин, образование пустот в горном массиве, провалов или мульд оседания на земной поверхности.

Наиболее характерные схемы прорывов показаны на *рис. 6.5*. Обычно, в самом начале внезапного прорыва, притоки воды достаточно незначительны, затем, за короткий промежуток времени (от нескольких десятков минут до нескольких часов), быстро возрастают и достигают своего максимального значения, после чего медленно (в течение нескольких часов или суток) уменьшаются и, в некоторых случаях, прекращаются.

Прорывы незагрязнённой воды по величине притока подразделяются на следующие категории [Мостков, 1992]:

- небольшие — до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- средние — $100 + 500 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- крупные — $500 + 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- катастрофические — более $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При строительстве тоннелей мелкого заложения затопления происходят, чаще всего, в результате разрыва магистральных водопроводов или теплотрасс, оказавшихся в зоне влияния горных работ.

Подземное строительство в условиях сильного водопритока требует принятия специальных мер по водоподавлению. Эффективность этих мер во многом зависит от степени достоверности прогноза гидрогеологической ситуации, характеризующейся расположением и режимом подземных вод, строением и свойствами грунтов. Ошибки в прогнозе гидрогеологической ситуации во многих случаях приводят к возникновению аварийных ситуаций, что значительно осложняет ведение горнопроходческих работ, снижает их темпы, а иногда вызывает частичное или полное затопление строящегося сооружения. При этом изменяется естественный режим движения грунтовых вод, что может, в свою оче-

редь, привести к потере устойчивости породного массива.

Катастрофические затопления подземных выработок нередко случаются при проведении подводных тоннелей. Подземные работы под река-



Рис. 6.5. Схемы прорывов воды в тоннель: при пересечении водоносного пласта в кровле (а) и в подошве (б), при пересечении сбросовой трещины кровлей (в), подошвой (г), при прорыве напорными водами кровлей (д) и подошвой (е) водоупорного целика недостаточной мощности, при пересечении забоем водоносной трещины (ж), при пересечении водоносных карстовых полостей (з)

ми, каналами, морскими заливами и проливами ведутся, преимущественно, в слабых неустойчивых грунтах под большим гидростатическим давлением, что требует исключительной осторожности при ведении горнопроходческих операций, предварительного исследования надежности защитных свойств породной кровли и забойного пространства, подготовки эффективных мер по технике безопасности, разработки защиты против стихийного прорыва воды. Наибольшая вероятность прорыва воды в забой при проходке подводных тоннелей закрытыми способами возникает в случае гидравлической связи грунтовых и поверхностных вод.

История строительства подводных тоннелей под крупными водными преградами насчитывает многочисленные примеры аварий, связанных с затоплением тоннельных выработок. Например, при проходке подводных тоннелей под Ирландским морем на глубине 240 м от дна неожиданно прорвавшаяся вода затопила выработки, в результате чего погибли 40 человек. При строительстве подводных выработок в Японии, вследствие внезапного прорыва воды, погибли 240 человек. Наиболее крупные современные аварии произошли при строительстве подводных тоннелей Сейкан в Японии и под проливом Большой Бельт в Дании.

Эксплуатируемые сооружения могут быть затоплены ливневыми и паводковыми водами при недостаточно эффективных защитных мероприятиях. Кроме этого причиной попадания воды в эксплуатируемое сооружение могут быть повреждения конструкции отделки, выход из строя дренажа, нарушения сплошности гидроизоляции.

Частичное затопление подземного объекта вызывает нарушение его нормальной эксплуатации, повреждение элементов конструкции и инженерного оборудования, а внезапное сильное затопление — аварийную ситуацию с человеческими жертвами.

Загазованность воздуха в строящихся или эксплуатируемых подземных сооружениях выше допустимых пределов может привести к следующим аварийным ситуациям: отравлению людей, пожарам и взрывам легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ, газовой коррозии материала отделки и эксплуатационного оборудования.

Аварийная ситуация может быть вызвана непрогнозируемым устойчивым превышением в воздухе рабочей зоны предельно допустимых концентраций (ПДК) ядовитых, вредных инертных или взрывоопасных газов. Аварии возникают при неудовлетворительной организации проветривания, отсутствии или ослаблении систематического контроля за содержанием газа в воздухе выработок.

Источником образования ядовитых или взрывоопасных газов могут служить технологические процессы (взрывные работы, искусственное замораживание грунтов и т.п.), а также геологический состав окружающих пород на участках строительства тоннелей. Наибольшее количество (23%) аварийных ситуаций приходится на строительство объектов в породах, насыщенных нефтепродуктами или газоносных, а также при ведении взрывных работ (20%). Примерно 30% всех аварий происходит при выполнении операций, связанных с искусственным замораживанием грунтов.

Основные причины *загазованности и задымленности* воздуха в подземном сооружении: пересечение его трассой нефтеносных, битуминозных, соленосных пород, а также вскрытие полостей, заполненных природными газами, характеризующихся содержанием большого количества ядовитых и взрывоопасных компонентов.

Наиболее часто в условиях подземного строительства встречаются метан, монооксид углерода, диоксид углерода, сероводород, диоксид серы и аммиак. Различные газы и соединения (монооксид углерода, углеводороды, оксиды азота и др.) выделяются дизельными или карбюраторными двигателями, установленными на горнопроходческом оборудовании и на транспортных средствах. Нередко содержание в воздухе токсичных и горючих газов превышает предельно допустимую концентрацию, а процентное содержание кислорода становится недостаточным.

Газы попадают в эксплуатируемое сооружение из окружающего грунтового массива через обделку (при отсутствии специальной газоизоляции), выделяются двигателями транспортных средств, эксплуатационным оборудованием и при дыхании людей, и могут вызвать различные аварийные ситуации.

Негативные последствия загазованности воздуха усугубляются при недостаточно эффективной вентиляции, а также в случае неисправности или неожиданного отключения вентиляционной системы.

При возведении подземных объектов в газоносных породах выполняют систематический дозиметрический контроль различных газов и химических соединений. Для определения концентрации опасного даже в малых дозах оксида углерода (угарного газа) СО разработаны различные приборы: портативные переносные и автоматические стационарные устройства — анализаторы, работающие на основе использования инфракрасного излучения, электрохимические детекторы и др. Созданы разнообразные детекторы для выявления присутствия метана и определения его концентрации, работающие на основе использования различных химических и физических свойств этого газа.

Недостаток кислорода в атмосфере подземных выработок обнаруживают при помощи приборов, оборудованных электрохимическими датчиками. Для определения концентрации оксидов азота, сероводорода и аммиака применяют специализированные детекторы.

Загазованность воздуха часто сопровождается задымленностью, когда частицы углерода и оксиды азота образуют коричневый дым, ухудшающий условия видимости и повышающий вероятность возникновения аварии. Сильной задымленностью воздуха сопровождаются пожары и взрывы.

Пожары и взрывы могут привести к разрушению обделки и временной крепи, обрушению породы, прорыву подземных вод, выходу из строя оборудования.

Пожары в эксплуатируемых подземных сооружениях чрезвычайно опасны в связи с ограниченным пространством, большим скоплением людей и трудностями их быстрой эвакуации, а также из-за удаленности сооружений от крупных гарнизонов пожарной охраны и источников воды, трудностей проникновения к очагу пожара и подачи достаточного количества огнетушащих веществ, а также отсутствия видимости.

Для развития пожаров в условиях подземного объекта характерны: быстрое задымление воздуха; высокая концентрация токсичных газов; возможность скопления горючих газов и паров во взрывоопасной концентрации; наличие высоких температур (до 1500 °С).

Несмотря на то, что пожары в тоннелях случаются значительно реже, чем в наземных сооружениях, последствия их, как пра-

вило, более трагичны. При первых признаках пожара и связанного с ним задымления большинство находящихся в подземном сооружении людей могут поддаться панике; часто проявляются групповые психозы и коллективная истерия.

Пожары и взрывы в строящихся и эксплуатируемых подземных сооружениях происходят не только из-за сильной загазованности воздуха выработки и при повышении температуры окружающего массива, но и из-за *нарушения правил техники безопасности* при выполнении ряда работ в тоннеле (электро- и газосварка, буровзрывные работы, ремонт электрооборудования, присутствие легковоспламеняющихся материалов). Частыми причинами пожаров и взрывов в транспортных тоннелях являются *внезапные возгорания транспортных средств* в случае их неисправности, наездов или столкновений (особенно таких транспортных средств, которые перевозят легковоспламеняющиеся или взрывоопасные грузы), а также *неисправности электрооборудования в тоннеле*.

В ряде случаев причиной аварийных ситуаций могут стать *нарушения технологии производства работ*. Например, несвоевременное и недостаточно тщательное крепление забоя в слабоустойчивых и неустойчивых грунтах может вызвать обрушение породы. Нарушения технических условий и правил техники безопасности при работе под сжатым воздухом могут привести к прорывам воды с грунтом в забой и заболеванию рабочих кессонной болезнью, а также к возникновению пожаров.

К авариям приводят и некоторые *нарушения режима эксплуатации сооружения*. Так, внезапная поломка или отключение системы освещения может привести к столкновению транспортных средств в автодорожных тоннелях. Выход из строя вентиляционного оборудования может вызвать чрезмерную загазованность воздуха, а отключение на длительное время водоотливных устройств — затопление выработки.

Аварийные ситуации в строящихся и эксплуатируемых подземных сооружениях приводят к неблагоприятным экологическим последствиям: нарушениям устойчивости грунтового массива, просадкам дневной поверхности, повреждениям наземных зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, загазованности и задымлении воздушного бассейна, повышению шума и вибрации на прилегающей территории.

6.2. Основные виды рисков в подземном строительстве*

В процессе строительства и эксплуатации подземного сооружения возникают различные аварийные ситуации, связанные с ошибками в решениях изыскателей, проектировщиков, строителей и эксплуатационного персонала. Принятие того или иного решения зависит от множества объективных и субъективных условий и факторов. Учесть все условия и факторы, а затем активно на них воздействовать, не всегда возможно. Соответственно и принятое решение может иметь различный исход, как желательный, т.е. правильный, так и нежелательный — ошибочный. В любом случае, появляется неопределённость в прогнозировании исхода ситуации, т.е. имеется лишь некоторая вероятность достижения результата, или риск.

Риском принято называть вероятность достижения желательного или нежелательного результата от принятого решения*.

Как известно из теории вероятностей, вероятность p может принимать значения от 0 до 1. При $p = 1$ имеется полная уверенность в достижении запланированного результата, при $p = 0$ можно быть уверенным в том, что запланированный результат достигнут не будет. В обоих случаях для прогнозирования риска необходима полная и достоверная информация об объекте. Любое промежуточное значение p свидетельствует о недостаточности и (или) недостоверности информации для выработки правильного решения.

Все риски, возникающие при проектировании, строительстве и эксплуатации подземного сооружения, можно условно классифицировать:

— *по природе возникновения*: внешние, обусловленные различными внешними факторами (инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, сбоями в поставках строительных материалов и оборудования или поставками некачественных материалов, проблемами финансирования и пр.), и внутренние, возникшие внутри системы (некачественно проведённые инженерные изыскания, нарушения технологий производства работ, вы-

* В данном разделе, в основном, излагаются основы теории производственных рисков применительно к подземному строительству.

ход из строя проходческого оборудования, нарушения строительных норм и правил техники безопасности и т.д.);

— *по принадлежности*: ошибки изыскателей, проектировщиков, строителей, эксплуатационного персонала, поставщиков строительных материалов и оборудования, заказчика, инвестора и др.;

— *по времени возникновения и проявления*: ошибка, возникшая при инженерно-геологических изысканиях или при проектировании, может проявиться лишь при строительстве или, что ещё хуже, при эксплуатации сооружения. Примером подобных ошибок может служить Лужнецкий метромост в Москве, а также широко известные аварии, связанные с прорывами плывунов в тоннели метрополитенов Москвы и Санкт-Петербурга;

— *по продолжительности проявления негативных последствий*: длительные и кратковременные;

— *по интенсивности проявления и ущербу*: крупные и местные;

— *по степени влияния на результат*: незначительные — не оказывающие влияния на само сооружение, сроки строительства, не имеющие человеческих жертв и крупных материальных последствий; значительные — приводящие к изменению конфигурации или трассы подземного сооружения, увеличению сроков строительства, длительному выходу из строя проходческого оборудования, приводящие к травмам и гибели людей и крупным материальным последствиям; катастрофические, результатом которых является прекращение строительства или невозможность эксплуатации подземного объекта;

— *по реальности проявления* — прогнозируемые и фактические.

Неизбежность возникновения рисков в процессе строительства и эксплуатации подземного сооружения требует разработки и применения методов прогнозирования рисков ситуаций и реагирования на них для исключения или минимизации последствий.

Для качественного анализа причин и последствий возможных рисков применяют различные математические методы, в частности:

— аналитический, базирующийся на жёстко последовательном расчёте по заданным формулам и нормативам;

* В дальнейшем примем, что рисковой является та ситуация, которая приводит к возникновению негативных последствий (аварий).

— алгоритмический — использующий систему логических построений, позволяющих более полно учесть имеющиеся условия и ограничения;

— статистический — требующий наличия статистических данных об аварийных ситуациях на объектах-аналогах. Этот метод малоприменим при строительстве уникальных сооружений, каковыми являются многие крупные подземные объекты;

— имитационное моделирование — позволяет наиболее полно и адекватно описывать все процессы, происходящие при строительстве и эксплуатации подземного сооружения и отслеживать последствия имитируемых и фактических сбоев. Для этого, нередко, общее алгоритмическое представление системы реализуется с помощью ЭВМ.

Наиболее сложной задачей становится количественная оценка последствий проявления каждого вида риска и их совокупности, связанная с существованием множества вариантов решений и, как следствие, неопределённостью рисков ситуаций. Для выявления вероятности возникновения каждого вида риска необходимо составить классификацию всех возникающих рисков, произвести расчёт базовых значений рисков и выделить из них основные. В первую очередь на возникновение различных рисков ситуаций при строительстве и эксплуатации подземных сооружений влияют факторы, представленные на рис. 6.6.

Математическое ожидание ущерба от принятого решения M_i^0 можно оценить по формуле:

$$M_i^0 = \sum_{j=1}^{j=m} u_{ij} p_j, \quad (1)$$

где p_j — вероятность проявления возможных рисков ситуаций, $j = 1, 2, 3, m$ — количество вариантов возможных рисков ситуаций, u_{ij} — величина ущерба при реализации i -го решения в j -ой рисковой ситуации или значимость i -го риска.

При наименее удачном решении значение M_i^0 минимально, при наиболее благоприятном — максимально. В расчёте p_j необходимо учитывать, что некоторые рисковые ситуации могут накладываться друг на друга во времени и в пространстве, а неко-

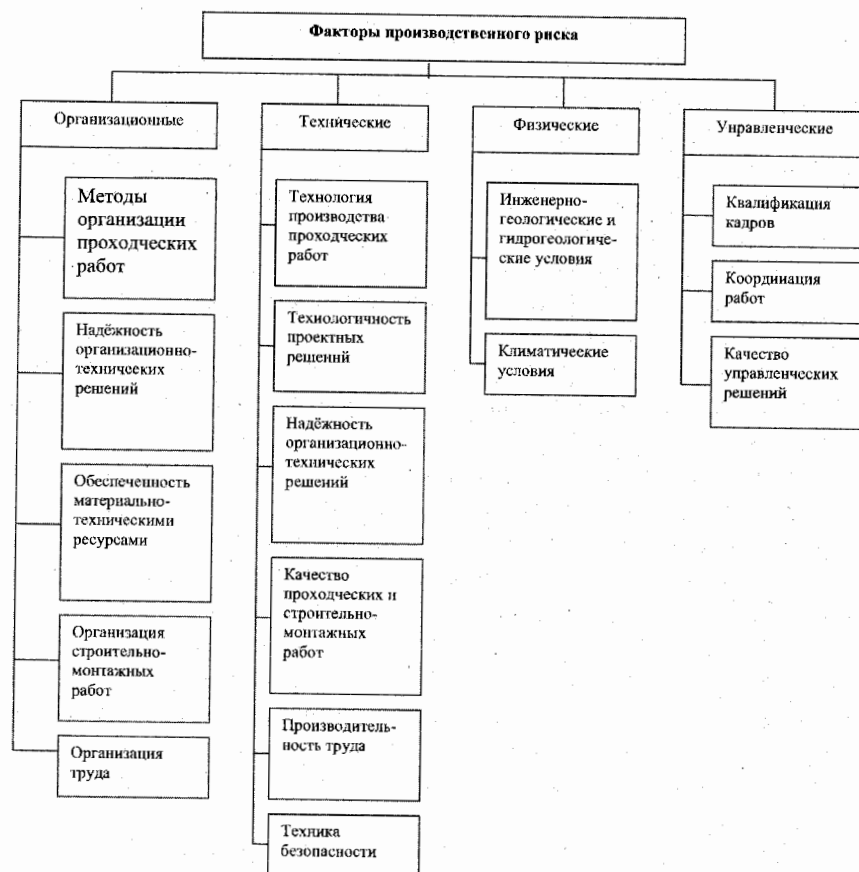


Рис. 6.6. Классификация факторов производственного риска [Онуфриева, 1997]

торые ситуации являются взаимоисключающими. Соответственно, величина риска будет увеличиваться или уменьшаться.

В соотношении между математическим ожиданием ущерба и разбросом случайных значений ущерба (дисперсией) всегда имеется некоторая точка безразличия. Для дискретных случайных величин дисперсия D_i определяется как:

$$D_i = \sum_{j=1}^{j=m} (u_{ij} - M_i^0)^2 \quad (2)$$

Чем больше дисперсия, тем, при меньшем среднем ущербе, раньше наступает точка безразличия. При значении дисперсии, равном нулю, гарантирован максимальный ущерб. При некотором значении дисперсии, равном D_e , наступает равновесное состояние, при котором как ущерб, так и эффективность принятого решения становятся равными нулю. При дальнейшем возрастании дисперсии снижается риск возникновения аварийной ситуации и повышается эффективность принятого решения.

По результатам качественной и количественной оценки рисков разрабатываются мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций и нейтрализации их последствий.

6.3. Надёжность и долговечность подземных сооружений

Надёжность систем и технических устройств принято рассматривать как вероятность нормального функционирования устройства или системы в течение заданного промежутка времени при известных условиях окружающей среды в соответствии с требованиями государственных стандартов и норм*. Под *надёжностью технологий подземного строительства* понимают осуществление технологических процессов строительства подземного объекта без отказов за счёт обеспечения факторов надёжности строительных технологий.

Факторы надёжности строительных технологий предупреждают возможные отказы в процессе строительства: остановки, аварии, ущерб от негативных последствий. Эти факторы включают [Лернер, Петренко, 1999]:

концепции безопасности строительства подземного сооружения;

разделение и предупреждение рисков в неопределённых, изменяющихся по трассе тоннеля или контуру сооружения инженерно-геологических условий;

избыточность и компенсирование набора различных технологий и технических приёмов строительства;

* В данном разделе рассматриваются только факторы надёжности, приводящие к утрате несущей способности при строительстве или к невозможности эксплуатации объекта.

применение геофизических методов разведки для обнаружения опасных зон по трассе строительства;

специальные методы и технологии, предотвращающие негативное влияние нарушенных зон на процесс ведения проходческих работ и осадку поверхности, повышающих устойчивость подземных выработок;

методики подбора комплекса технологий и технических приёмов, снижающих возможные риски и последствия негативных ситуаций, а также повышающих надёжность строительства подземных сооружений.

Существуют четыре способа повышения надёжности при разработке различных компонентов и систем [Диксон, 1969]:

1. избыточность;
2. простота;
3. применение стандартных элементов с известной и проверенной надёжностью;
4. работа элементов и систем не на полную мощность, что позволяет увеличивать срок службы оборудования, но при этом увеличивает продолжительность и стоимость строительства подземного сооружения.

Основным направлением повышения надёжности подземного объекта принято считать избыточность.

Основные понятия и положения теории надёжности и долговечности подземных сооружений определены в положении «Основные направления строительного проектирования подземных объектов, 1991».

Надёжностью подземного объекта называется его способность сохранять своё функциональное значение в течение установленного срока эксплуатации. Соответственно, основным показателем надёжности сооружения является вероятность его безотказной работы.

Отказ объекта — это полная или частичная утрата несущей способности его составных элементов.

Долговечность объекта — это его способность сохранять работоспособность в заданных условиях эксплуатации. В качестве основных показателей долговечности подземного объекта приняты: ресурс; наработка до отказа, т.е. время безотказной работы от момента начала эксплуатации до наступления предельного со-

стояния, соответствующего прекращению эксплуатации и реконструкции или ликвидации объекта; фактический срок службы. В соответствии с этим при проектировании подземных объектов необходимо нормирование вероятности безотказной работы сооружения в течение заданного срока эксплуатации. Допустимые значения показателей надёжности определяют в зависимости от последствий, к которым может привести отказ (табл. 6.1).

Надёжность конструктивных элементов определяется как вероятность того, что за период эксплуатации их несущая способность не выйдет за допустимые пределы. В качестве основного показателя, характеризующего несущую способность конструктивных элементов, принимается коэффициент запаса прочности, равный отношению предельной и действующей нагрузок. Значение коэффициента должно быть больше 1.

Таблица 6.1. Допустимые значения вероятности безотказной работы подземного сооружения в зависимости от последствий отказа

Последствия отказа	Допустимая вероятность безотказной работы
Катастрофические — полное разрушение объекта, разрушение оборудования, гибель людей	$p \rightarrow 1$
Имеющие значительный экономический ущерб — приостановление работы объекта, выход из строя оборудования	$p \geq 0,99$
Имеющие незначительный экономический ущерб — простои в работе объекта для ремонта	$p \geq 0,90$
Практически без последствий — только незначительные затраты на ремонт	$p \leq 0,90$

Отказы конструктивных элементов в процессе эксплуатации подземного объекта подразделяются на постепенные и внезапные. Внезапные отказы, в основном, характерны для скальных и полускальных пород. Чаще всего они вызваны тектоническими составляющими напряжённого состояния и накоплением внутренних изменений структуры горных пород. Интенсивность таких отказов принимается независимой от времени, а их совокупность во времени представляет собой математический ряд с экс-

по экспоненциальным законам распределения, т.е. средняя наработка до отказа обратно пропорциональна его интенсивности. В этом случае функция надёжности конструктивного элемента записывается в виде:

$$Q(\Delta) = \left(\frac{1}{2} + \Phi(\Delta) \right) \exp(-\lambda t), \quad (3)$$

где $\Phi(\Delta)$ — табулированная функция Лапласа, Δ — характеристика безопасности, λ — интенсивность отказов, t — время эксплуатации.

Характеристика безопасности Δ может быть определена как:

$$\Delta = \frac{n-1}{\sqrt{U_R^2 n^2 + U_S^2 - 2KnU_R U_S}}, \quad (4)$$

n — средний коэффициент запаса прочности, U_R — коэффициент вариаций предела прочности, U_S — коэффициент вариаций нагрузки, K — коэффициент корреляции между прочностью и нагрузкой.

Средний коэффициент запаса прочности:

$$n = \frac{R}{S}, \quad (5)$$

R — среднее значение предела прочности, S — среднее значение нагрузки.

Интенсивность отказов — это величина, обратная средней наработке до отказа T :

$$\lambda = \frac{1}{T} \quad (6)$$

Средняя наработка определяется путём статистической обработки результатов натурных наблюдений за состоянием горных выработок. При отсутствии данных длительных статистических наблюдений интенсивность отказов может быть определена по теории выбросов случайных процессов. В этом случае интенсивность отказов характеризуется средним числом пересечений в единицу времени стационарной случайной функцией неразрушимости:

$$\lambda = \frac{\beta}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2}\right), \quad (7)$$

где β — параметр, характеризующий скорость затухания автокорреляционной функции стационарного случайного процесса резерва прочности.

Важной характеристикой долговечности является *обеспеченный ресурс*. Это гарантированный срок безотказной работы с заданным уровнем безотказности. Для экспоненциального закона надёжности обеспеченный ресурс рассчитывается как:

$$t_{pec} = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{Q_{дон}}{\frac{1}{2} + \Phi(\Delta)} \right). \quad (8)$$

Надёжность системы камерных выработок определяется надёжностью её конструктивных элементов и структурной схемой их соединения. Если подземный объект состоит из нескольких групп камер, разделяемых барьерными целиками, то система камер и целиков, составляющих группу, называется *панелью*. Вероятность отказа подземного объекта $p_{об}$, состоящего из m одинаковых панелей, определяется исходя из предположения, что отказ происходит либо при отказе всех панелей, либо при отказе хотя бы одного барьерного целика:

$$p_{об} = 1 - (1 - p_{пан}^m)(1 - p_с)^{m-1}, \quad (9)$$

где $p_{пан}$ — вероятность отказа панели, $p_с$ — вероятность отказа барьерного целика, разделяющего панели:

$$p_{пан} = \sum_{k=1}^n C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad (10)$$

n — число междуканальных целиков, входящих в панель, l — число отказавших целиков, p^k — вероятность отказа k -го целика, C_n^k — количество сочетаний из n по k .

Таким образом, в результате правильного подбора приемов и технологий подземного строительства возможно повышение надёжности строительства подземных объектов и совершенствование их качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инженерное освоение подземного пространства — одна из наиболее древних и, в то же время, постоянно и динамично развивающихся строительных отраслей в мире. Искусственные пещеры и подземные горные выработки на территории Российской Федерации и стран СНГ известны с древнейших времён. В них располагались оборонные, жилые, культовые, хозяйственные и др. помещения. Веками совершенствовалась технология производства работ, увеличивалась глубина заложения, появлялись всё новые и новые направления использования подземного пространства. Современное состояние отрасли характеризуется тенденцией комплексного использования подземного, наземного и надземного пространства, строительства multifunctional подземных комплексов, решающих многие экологические, транспортные, инженерные и социальные проблемы крупных городов и городов-мегаполисов. Такие комплексы органично вписываются в историческую застройку городов, сочетая в себе современные архитектурные решения, обеспечивающие эмоциональный и психологический комфорт находящихся в них людей, эргономику и максимальное обеспечение безопасности.

Важным резервом инженерного освоения подземного пространства является повторное использование подземных сооружений различного назначения: отработанных горных выработок, объектов гражданской обороны, сооружений, имеющих историческое значение и т.п. В них можно размещать подземные гаражи и автостоянки, складские, торговые помещения, спортивные сооружения, развлекательные комплексы, археологические музеи, экскурсионные маршруты по подземной части старых русских городов.

Обеспечение современного уровня надёжности и безопасности использования подземного пространства невозможно без ре-

шения проблемы производственных рисков при строительстве и эксплуатации подземных объектов. Важную роль в решении этой задачи играет разработка теории надёжности и безопасности подземных сооружений и её реализация на каждом строящемся и реконструируемом объекте.

С увеличением численности населения нашей планеты, ростом городского населения, появлением новых, экологичных видов энергии всё более длительное время люди будут находиться под землёй. Значит, в третьем тысячелетии проблема инженерного освоения подземного пространства приобретёт ещё большую актуальность. Об этом свидетельствуют разрабатываемые уже сейчас как отечественными, так и зарубежными архитекторами концепции вертикальных городов будущего. А для успешной реализации подобных концепций необходимы разработка и обоснование общей теории использования подземного пространства, решающей не только современные, но и будущие проблемы комплексности, эргономики, обеспечения надёжности, безопасности, психологического и эмоционального комфорта людей.

ЛИТЕРАТУРА

Нормативная:

1. ГОСТ 23961-80. Метрополитены. Габариты приближения строений, оборудования и подвижного состава.
2. МГСН 5.01-94*. Стоянки легковых автомобилей.
3. МГСН 1.01-99. Нормы и правила проектирования планировки и застройки г. Москвы.
4. МГСН 2.07-97. Основания, фундаменты и подземные сооружения.
5. СН 322-74. Указания по производству и приёмке работ по строительству в городах и на промышленных предприятиях коллекторных тоннелей, сооружаемых способом щитовой проходки.
6. СНиП II-11-77*. Защитные сооружения гражданской обороны.
7. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки.
8. СНиП 2.01.55-85 Объекты народного хозяйства в подземных горных выработках.
9. СНиП 2.06.09-84. Тоннели гидротехнические.
10. СНиП 2.07.01-89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
11. СНиП 2.11.04-85. Подземные хранилища нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов.
12. СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автомобильные.

Дополнительная:

1. Авдоткин Л.Н., Лежава И.Г., Смоляр И.М. Градостроительное проектирование. — М.: Стройиздат, 1989.
2. Архитектура московского метро. Под общей редакцией Н.Я. Колли и С.М. Кравец. — М.: Всесоюзная Академия архитектуры, 1936.
3. Архитектурная физика. Под ред. Н.В. Оболенского. — М.: Стройиздат, 1997.
4. Барбакадзе В.Ш., Давыдов С.В. Железобетонные и армополимерные строительные конструкции нулевого цикла работ на железнодорожном транспорте. — М., 1983. — Ч. 1.
5. Барбакадзе В.Ш., Мураками С. Расчёт и проектирование строительных конструкций и сооружений в деформируемых средах. — М.: Стройиздат, 1989.
6. Башмаков В.М., Мостков В.М. Высокие технологии строительства тоннелей // Новое в отечественном и зарубежном подземном строительстве // Прил. к журн. Подземное пространство мира. — М.: 1996.
7. Бессолов В.А., Васильев Н.Ф. Строительство Лефортовских автомобильных тоннелей в Москве // Транспортное строительство. — 2000. — № 5.
8. Бородин В.И. Индустриализация подземного пространства — глобальная перспектива XXI века // Альманах научно-технической информации // Прил. к журн. Подземное пространство мира. — 1995. — № 5—6.
9. Власов Д.Н., Говорова Т.Б., Конюхов Д.С. Инженерные вопросы реконструкции сложившихся районов Москвы // Современные технологии в строительстве. Образование, наука, практика: материалы городской научно-практической конференции (31 янв.—2 фев. 2001 г): Моск. гос. строит. ун. — М.: МГСУ, Издательство АСВ, 2001.
10. Власов С.Н., Маковский Л.В., Меркин В.Е. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. — М.: ТИМР, 2000.
11. Волков В.П., Воронцовский Л.В., Зурабов Г.Г., Бугаева О.Е. и др. Тоннели / Под общей редакцией В.П. Волкова. — М.: ГТЖИ, 1945.

12. *Габкин-Эстеркин В.И.* Захоронение радиоактивных отходов в использованных горных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень Московского государственного горного университета. — М.: 1998. — № 3.

13. *Говорова Т.Б.* Инженерная подготовка и благоустройство городских территорий. — М.: ИМПЭ, 2000.

14. *Горная энциклопедия.* — М.: Советская энциклопедия, 1984. Т. 1.

15. *Горшков Ю.Н., Конова Л.И., Морозов М.А.* и др. Экология Москвы. Недвижимость. — М.: ДТД, 1995.

16. *Дайджест* зарубежной информации: Прил. к журн. «Подземное пространство мира», 1996. — № 1—2.

17. *Дегтярёв Б.М.* Состояние, перспективы и проблемы использования подземного пространства в г. Москве // Труды Международной конференции «Подземный город: геотехнология и архитектура». — СПб.: 1998.

18. *Диксон Дж.* Проектирование систем, изобретательство, анализ и принятие решений. — М.: Мир, 1969.

19. *Дорман И.Я.* Виброизолирующие конструкции пути метрополитена // Прил. к журн. Подземное пространство мира. — 1995. — № 3.

20. *Звягильский Е.Л.* Характерные формы и механизмы сдвижений в окрестности заброшенного вертикального ствола // Известия горного института. — Донецк, ДГТУ. — 1998. — № 2.

21. *Ивахнюк В.А.* Строительство и проектирование подземных и заглублённых сооружений. — М.: АСВ, 1999.

22. *Иофис М.А., Петренко Е.В., Петренко И.Е.* Тоннели под Лефортово в г. Москве // Горный журнал. — 2000. — № 11—12.

23. *Климов В.Д.* Автодорожное тоннельное пересечение под Кутузовским проспектом в Москве // Метро и тоннели. — 2001. — № 1.

24. *Козырев С.А., Запорожец В.Ю., Зерищikov С.Г.* Сейсмическое воздействие подземных массовых взрывов на поверхностные сооружения // Горный журнал. — 1999. — № 4.

25. *Коньков А.Н.* Экспериментально-теоретическое обоснование сооружения двухъярусной объединённой односводчатой пересадочной станции метрополитена в протерозойских глинах // Автореферат дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: ПГУПС, 1999.

26. *Конюхов Д.С., Говорова Т.Б.* Городские подземные сооружения. — М.: ИМПЭ, 2000.

27. *Конюхов Д.С.* Некоторые проблемы экологии подземного строительства в Москве // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Строительные конструкции XXI века» / ч. 2. «Архитектура и технологии строительного производства»: Моск. гос. строит. ун-т. — М.: МГСУ, 2000

28. *Конюхов Д.С.* Освоение подземного пространства на территории России и стран СНГ // Подземные сооружения оборонного назначения в Москве. — Стройклуб. — 2001. — № 2—3.

29. *Конюхов Д.С.* Экологический аудит как возможное решение проблемы безопасности при строительстве, эксплуатации и ликвидации подземных сооружений // Современные технологии в строительстве. Образование, наука, практика: материалы городской научно-практической конференции (31 янв.—2 фев. 2001 г): Моск. гос. строит. ун. — М.: МГСУ, Издательство АСВ.

30. *Копыленко В.А., Цытин В.Ш.* Изыскания и проектирование мостовых переходов и тоннельных пересечений на железных дорогах / Под общей ред. В.А. Копыленко. — М.: УМК МПС России, 1999.

31. *Котенко Е.А.* Актуальные проблемы строительства подземных сооружений ядерной энергетики для геоэкологического обеспечения радиационной безопасности // Сб. Научно-технические проблемы разработки экологически безопасных технологий строительства и эксплуатации подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях. — М.: МГГУ, 1997.

32. *Котенко Е.А., Морозов В.Н., Петров Э.Л.* и др. Перспективы создания подземных атомных станций на территории России // Горный журнал. — 1999. — № 12.

33. *Кочерженко В.В.* Технология возведения подземных сооружений. — М.: АСВ, 2000.

34. *Кудряшов В.И., Тарбаев Н.А., Колышев И.Е.* и др. Строительство тоннеля под каналом имени Москвы // Метро и тоннели, 2001. — № 2.

35. *Кулагин Н.И.* Пересадочные узлы на линиях метрополитена глубокого заложения. — М.: ТИМР, 1996.

36. *Кулагин Н.И.* На пути к Татарскому проливу // Метро и тоннели. — 2001. — № 2.

37. Курносое В.И., Харитоненко Г.Н. Охрана окружающей среды при проектировании и строительстве коллекторных тоннелей // Горный вестник. — 1997. — № 4.

38. Лернер В.Г., Петренко Е.В. Систематизация и совершенствование технологий строительства подземных объектов. — М.: ТИМР, 1999.

39. Лубоцкий С.Ю. Проект линии мини-метро // Метро и тоннели. — 2001. — № 2.

40. Макаров О.Н., Меркин В.Е. Транспортные тоннели и метрополитены. Техника и технология строительства: состояние и перспективы. — М.: ТИМР, 1991.

41. Макаров О.Н., Власов С.Н. Подземные транспортные системы в большом городе // Транспортное строительство. — 1999. — № 1.

42. Маковский Л.В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей. — М.: Транспорт, 1993.

43. Москва в цифрах: от начала века до наших дней. — М.: Мосгоркомстат, 1997.

44. Мостков В.М. Специальные способы проходки гидротехнических тоннелей и шахт. — М.: МИСИ, 1992.

45. Мостков В.М. Подземные сооружения: Конспект лекций. — М.: МГСУ, 1998.

46. Мостков В.М. Дела и люди. — М.: АО «Институт Гидропроект», 2001.

47. Мостков В.М., Дмитриев Н.В., Рахманинов Ю.П. Проектирование и строительство подземных сооружений большого сечения. — М., Недра, 1993.

48. Мостков В.М., Кирилов А.П., Николаев Ю.Б. и др. Проектирование и строительство подземных атомных электростанций. Обзорная информация. — М.: Энергоатомиздат, 1985.

49. Мостков В.М., Орлов В.А., Степанов П.Д. и др. Подземные гидротехнические сооружения / Под ред. В.М. Мосткова. — М.: Высшая школа, 1986.

50. Неретин В.В., Бузов Г.С. Коммуникационный тоннельный коллектор в коренных породах // Метро и тоннели. — 2001. — № 1.

51. Нестеренко Б.И., Феофанов А.Н. Старые горные выработки на малых глубинах: новый взгляд на проблему // Проблемы экологии. — 1998. — № 1.

52. Обзор подземных хранилищ нефти и газа. — Апатиты: Горный институт КФ АН СССР, 1988. Вып. 1.

53. Онуфриева Т.Л. Оценка производственного риска в строительстве // Автореферат дис... канд. экон. наук. — М.: МГСУ, 1997.

54. Орехов В.Г., Зерцалов М.Г. Механика разрушений инженерных сооружений и горных массивов. — М.: АСВ, 1999.

55. Орехов Г.В., Андреева А.Б. Проект-менеджмент в строительстве. — М.: ИМПЭ, 2000.

56. Основные направления строительного проектирования подземных объектов. — М.: ЦНИИПромзданий, 1991.

57. Павлов Л.Л. Новая и Старая площади Китай-города // Строительство и архитектура Москвы. — 1999. — № 5.

58. Папернов М.М., Зильберборд А.Ф. Производственные и складские объекты в горных выработках. — М.: Стройиздат, 1984.

59. Певзнер М.Е. Горный аудит. — М.: МГГУ, 1999.

60. Петренко И.Е. Экологические аспекты строительства подземных сооружений // Горный вестник. — 1998. — № 1.

61. Петренко Е.В., Петренко И.Е. Организация освоения подземного пространства с учётом глобализации экономики // Подземное пространство мира. — 2001. — № 1—2.

62. Петренко Е.В., Петренко И.Е. Проблемы освоения подземного пространства в XXI веке // Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций // Прил. к журн. Подземное пространство мира. — 2001. — № 3—4.

63. Пособие по проектированию метрополитенов. — М.: Метрогипротранс, 1992.

64. Пуголовков П.В., Большкин В.В. Магистраль автодорожный тоннель готов к эксплуатации // Метро и тоннели, 2001. — № 1.

65. Российская архитектурно-строительная энциклопедия (РАСЭ) — М.: ВНИИТПИ, 1996. Т. 4.

66. Саари К., Рейнисто Я., Лайне О. и др. Строительство в скальном грунте в Финляндии. — М.: Стройиздат, 1993.

67. Слукин В.М. Архитектурно-исторические подземные сооружения. — Свердловск: 1991.
68. Справочник по маркшейдерскому делу / Под ред. проф. А.Н. Омельченко. — М.: Наука, 1979.
69. Стеблов В.В. Тоннели третьего транспортного кольца // Транспортное строительство. — 2000. — № 5.
70. Страментов А.Е. Инженерные вопросы планировки городов. — М.: Государственное издательство архитектуры и градостроительства, 1951.
71. Субботин В.А. Протяжённые скоростные подземные автомагистрали и улучшение экологической обстановки в Москве // Горный журнал. — 2000. — № 11—12.
72. Тенденции развития системы автомобильных стоянок и гаражей легковых автомобилей // Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций // Прил. к журн. Подземное пространство мира. — 1997. — № 3.
73. Ториков В.Н. Использование горных выработок и подземных полостей в промышленных целях. — М.: ЦНИИС Госстроя СССР, 1978.
74. Трубецкой К.Н., Иофис М.А. Геомеханическое обеспечение комплексного освоения недр Москвы // Горный журнал. — 1999. — № 11.
75. Тягниберда Я.Ф., Суворов П.Ф. Первые метры щитовой проходки на Метрострое // Метро и тоннели. — 2001. — № 2.
76. Управление строительными инвестиционными проектами // Под общей ред. В.М. Васильева, Ю.П. Панибратова. — М., СПб: АСВ, 1997.
77. Храпов В.Г., Демешко Е.А., Наумов С.Н. и др. Тоннели и метрополитены / Под ред. В.Г. Храпова. — М.: Транспорт, 1989.
78. Шмерлинг В.А. Новый участок Серпуховско-Тимирязевской линии московского метрополитена // Метро и тоннели. — 2001. — № 1.
79. Юфин С.А. Современный опыт специалистов ФРГ в строительстве подземных сооружений электростанций // Энергетическое строительство за рубежом. — 1989. — № 2.
80. Brierley G., Smith J. Going under? How about urban design build! // World Tunnel. and Subsurface Excav. — 1998. — № 9.
81. Datteln N.N. Sicher und trocken im Erdreich — innovative Schächte // Neue DELIWA — Z, 1998. — № 4.
82. Dettwiler M., Dunn J., Fries T. Portal designs for rural areas // World Tunnel. and Subsurface Excav. — 1998. — № 9.
83. Major Moscow tunnel collapse avoids injury // Tunnels and tunnel. — 1998. — № 9.
84. Nishi J., Seiki T. Planning and design of underground space use. // Mem. Sch. Eng. Nagoya Univ. — 1997. — № 1.
85. Underground works and the environment // Tunnels and tunnel. Int. — 1998. — № 4.
86. Victorian rail tunnels in read of rehabilitation // Tunnels and tunnel. Int. — 1998. — № 11.
87. Wighman T. Think deeps — go underground // ENR: Eng. News — Rec. — 1998. — № 4.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
1. Исторический обзор инженерного освоения подземного пространства	10
1.1. Краткий исторический обзор подземного строительства в мире	10
1.2. Освоение подземного пространства на территории России и стран СНГ	29
1.3. Подземное строительство в Москве	49
2. Объемно-планировочные решения подземных сооружений	74
2.1. Классификации подземных сооружений	74
2.2. Подземные сооружения транспортного назначения	84
2.3. Подземные сооружения общественного назначения	163
2.4. Подземные сооружения в промышленности	169
2.5. Сооружения энергетики	174
2.6. Подземные хранилища	189
2.7. Инженерные сооружения	201
2.8. Сооружения специального назначения	216
2.9. Другие подходы к использованию подземного пространства	220
2.10. Комплексное использование подземного пространства	225
3. Современные архитектурные и конструктивные решения подземных сооружений	231
4. Взаимодействие подземного объекта с окружающей природной средой	237
5. Повторное использование подземных сооружений и отработанных горных выработок	249
6. Надежность и долговечность подземных сооружений	258
6.1. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации подземных сооружений	258
6.2. Основные виды рисков в подземном строительстве	275
6.3. Надежность и долговечность подземных сооружений	279
Заключение	284
Литература	286

Учебное пособие

**Конохов
Дмитрий Сергеевич**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Редактор *Попова И.В.*
Верстка *Агнестиков А.В.*

Гарнитура Петербург. Формат 60×90/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Уч. изд. л. 16,72
Усл. печ. л. 18,5. Изд. 71. № А-59.

Издательство «Архитектура-С»

Тираж 2000 экз. Заказ Э-343.

Отпечатано в типографии ГУП ПИК «Идел-Пресс».
420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.